

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP03/15901

09. 1. 2004

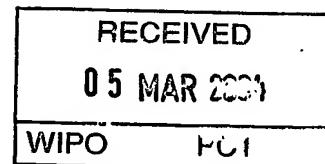
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2002年12月17日

出願番号
Application Number: 特願2002-365669
[ST. 10/C]: [JP2002-365669]

出願人
Applicant(s): トヨタ自動車株式会社

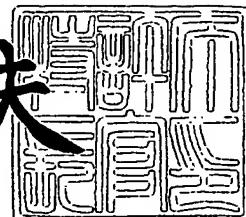


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 2月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 1024863
【提出日】 平成14年12月17日
【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿
【国際特許分類】 F02D 45/00
F02M 25/07
【発明の名称】 内燃機関の筒内流入排気ガス量算出装置、および、吸気通路内流入排気ガス量算出装置
【請求項の数】 17
【発明者】
【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
【氏名】 小林 大介
【発明者】
【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
【氏名】 武藤 晴文
【発明者】
【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
【氏名】 江原 雅人
【発明者】
【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
【氏名】 加古 純一
【特許出願人】
【識別番号】 000003207
【氏名又は名称】 トヨタ自動車株式会社
【代理人】
【識別番号】 100077517
【弁理士】
【氏名又は名称】 石田 敬
【電話番号】 03-5470-1900

【選任した代理人】

【識別番号】 100092624

【弁理士】

【氏名又は名称】 鶴田 準一

【選任した代理人】

【識別番号】 100082898

【弁理士】

【氏名又は名称】 西山 雅也

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008268

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0211566

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 内燃機関の筒内流入排気ガス量算出装置、および、吸気通路内流入排気ガス量算出装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 吸気通路と排気通路とを排気ガス再循環通路を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁を排気ガス再循環通路内に配置した内燃機関において、該内燃機関の気筒内に流入する排気ガスの量である筒内流入排気ガス量を、前記排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガス量を利用して算出する筒内流入排気ガス量算出装置において、前記排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが気筒に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、前記通過排気ガス量の変化に対する筒内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを考慮して、筒内流入排気ガス量を算出する筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項 2】 吸気通路と排気通路とを排気ガス再循環通路を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁を排気ガス再循環通路内に配置した内燃機関において、前記排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガス量を、該通過排気ガス量を変化させるパラメータを利用して算出し、該算出された通過排気ガス量を利用して、内燃機関の気筒内に流入する排気ガスの量である筒内流入排気ガス量を算出する筒内流入排気ガス量算出装置において、前記パラメータの値を読み込み、該読み込値に、前記排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが気筒に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、前記通過排気ガス量の変化に対する筒内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを反映させ、該無駄時間と追従遅れが反映された読み込値を利用して通過排気ガス量を算出する筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項 3】 上記追従遅れが一次遅れであり、該一次遅れの時定数と上記無駄時間とが機関回転数に応じて変更される請求項 1 または 2 に記載の筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項 4】 内燃機関が複数個の気筒を備えており、上記算出された筒内流入排気ガス量に対する各気筒における実際の筒内流入排気ガス量の比を分配係

数として予め求めておき、上記算出された筒内流入排気ガス量に該分配係数を乗することによって各気筒における筒内流入排気ガス量を算出する請求項1～3のいずれか1つに記載の筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項5】 内燃機関が複数個の気筒を備えており、上記追従遅れと無駄時間とが各気筒毎に設定されている請求項1～4のいずれか1つに記載の筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項6】 吸気弁の閉弁タイミングを変更可能な請求項1～5のいずれか1つに記載の内燃機関の筒内流入排気ガス量算出装置において、吸気弁の閉弁タイミングに応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項7】 機関運転状態に応じて上記排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガスの流速が変更せしめられる請求項1～5のいずれか1つに記載の内燃機関の筒内流入排気ガス量算出装置において、上記通路容積またはガスの流速に応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項8】 機関運転状態に応じて上記排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガスの流速が変更せしめられると共に、上記通過排気ガス量を吸気通路内の圧力と該吸気通路内の圧力以外のパラメータとの関数でもって表された関数式を予め求めて記憶しておき、該関数式を利用して吸気通路内の圧力から通過排気ガス量を算出する請求項1に記載の内燃機関の筒内流入排気ガス量算出装置において、上記通路容積またはガスの流速に応じて上記吸気通路内の圧力以外のパラメータを変更する筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項9】 吸気通路と排気通路とを排気ガス再循環通路を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁を排気ガス再循環通路内に配置した内燃機関において、吸気通路内に

流入する排気ガスの量である吸気通路内流入排気ガス量を、前記排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガス量を利用して算出する吸気通路内流入排気ガス量算出装置において、前記排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが吸気通路に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、前記通過排気ガス量の変化に対する吸気通路内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを考慮して、吸気通路内流入排気ガス量を算出する吸気通路内流入排気ガス量算出装置。

【請求項10】 吸気通路と排気通路とを排気ガス再循環通路を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁を排気ガス再循環通路内に配置した内燃機関において、前記排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガス量を、該通過排気ガス量を変化させるパラメータを利用して算出し、該算出された通過排気ガス量を利用して、吸気通路内に流入する排気ガスの量である吸気通路内流入排気ガス量を算出する吸気通路内流入排気ガス量算出装置において、前記パラメータの値を読み込み、該読み込み値に、前記排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが吸気通路に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、前記通過排気ガス量の変化に対する吸気通路内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを反映させ、該無駄時間と追従遅れが反映された読み込み値を利用して通過排気ガス量を算出する吸気通路内流入排気ガス量算出装置。

【請求項11】 上記追従遅れが一次遅れであり、該一次遅れの時定数と上記無駄時間とが機関回転数に応じて変更される請求項9または10に記載の筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項12】 内燃機関が複数個の気筒を備えており、上記排気ガス再循環通路が各気筒にそれぞれ接続された吸気通路に接続されており、上記算出された吸気通路内流入排気ガス量に対する各気筒に接続された吸気通路への実際の吸気通路内流入排気ガス量の比を分配係数として予め求めておき、上記算出された吸気通路内流入排気ガス量に該分配係数を乗することによって各気筒に接続された吸気通路内への吸気通路内流入排気ガス量を算出する請求項9～11のいずれか1つに記載の吸気通路内流入排気ガス量算出装置。

【請求項13】 内燃機関が複数個の気筒を備えており、上記追従遅れと無

駄時間とが各気筒毎に設定されている請求項9～12のいずれか1つに記載の吸気通路内流入排気ガス量算出装置。

【請求項14】 内燃機関の吸気弁の閉弁タイミングを変更可能であり、該吸気弁の閉弁タイミングに応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される請求項9～13のいずれか1つに記載の吸気通路内流入排気ガス量算出装置。

【請求項15】 吸気弁の閉弁タイミングを変更可能な請求項9～14のいずれか1つに記載の内燃機関の吸気通路内流入排気ガス量算出装置において、吸気弁の閉弁タイミングに応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される筒内流入排気ガス量算出装置。

【請求項16】 機関運転状態に応じて上記排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガス流速が変更せしめられる請求項9～14のいずれか1つに記載の内燃機関の吸気通路内流入排気ガス量算出装置において、上記通路容積またはガスの流速に応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される吸気通路内流入排気ガス量算出装置。

【請求項17】 機関運転状態に応じて上記排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガス流速が変更せしめられると共に、上記通過排気ガス量を吸気通路内の圧力と該吸気通路内の圧力以外のパラメータとの関数でもって表された関数式を予め求めて記憶しておき、該関数式を利用して吸気通路内の圧力から通過排気ガス量を算出する請求項9に記載の吸気通路内流入排気ガス量算出装置において、上記通路容積またはガスの流速に応じて上記吸気通路内の圧力以外のパラメータを変更する吸気通路内流入排気ガス量算出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、内燃機関の筒内流入排気ガス量算出装置、および、吸気通路内流入排気ガス量算出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

内燃機関の排気通路と吸気通路とを排気還流通路を介して接続すると共に、排気還流通路内を流れる排気ガスの流量を制御するための排気ガス流量制御弁を排気還流通路内に配置した内燃機関が、特許文献1に開示されている。この内燃機関では、気筒から排気通路に排出された排気ガスをこの排気還流通路を介して吸気通路に導入し、これにより、排気ガスを気筒内に再循環させることができる。

このように気筒内に排気ガスを再循環させる内燃機関では、例えば、空燃比が目標空燃比となるように燃料噴射量を決定するために、気筒内に充填されているガス量に対して排気ガスが占める割合（いわゆる、EGR率）を算出している。

【0003】

特許文献1では、定常運転時におけるEGR率をマップの形で予め求めておき、定常運転時においては、このマップからEGR率を求めるようにしている。また、特許文献1では、定常運転時におけるEGR率のマップから求まるEGR率を利用して、過渡運転時におけるEGR率を推定している。

具体的には、排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量を通過ガス量と称すると、排気ガス流量制御弁の目標の開度に関連して求まる通過ガス量に対する排気ガス流量制御弁の実際の開度に関連して求まる通過ガス量の比を、定常運転時におけるEGR率に乘じることによって、過渡運転時におけるEGR率を求めるようしている。

【0004】

すなわち、排気ガス流量制御弁の目標の開度に関連して求まる通過ガス量を Q_t で表し、排気ガス流量制御弁の実際の開度に関連して求まる通過ガス量を Q_a で表し、定常運転時におけるEGR率を R_c で表すとすると、特許文献1では、過渡運転時におけるEGR率 R を、 $R = R_c \cdot Q_a / Q_t$ から求めるようにしている。

また、特許文献1では、排気ガス流量制御弁の開度を変更する命令が發せられ

てから、実際に、排気ガス流量制御弁の開度が目標の開度になるまでには、幾分かの遅れがあることに注目し、過渡運転時におけるEGR率として、この遅れ分だけ前に算出された過渡運転時におけるEGR率を利用するようしている。

【0005】

【特許文献1】

特開平8-128359号公報

【特許文献2】

特開2002-130039号公報

【特許文献3】

特開2001-41095号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

特許文献1では、排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量を利用して、定常運転時におけるEGR率に基づいて、過渡運転時におけるEGR率を推定するものであって、気筒内に充填される排気ガスの量自体を直接求めるものではない。このため、過渡運転時におけるEGR率から気筒内に充填される排気ガスの量を推定した場合、その推定値の精度はあまり高くないと言える。

さらに、排気ガス流量制御弁の応答性にバラツキがある場合もあり、この場合には、排気ガス流量制御弁を通過するガス量自体の算出精度が低くなってしまう。

本発明の目的は、内燃機関の気筒内に流入する排気ガスの量を正確に算出することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、1番目の発明では、吸気通路と排気通路とを排気ガス再循環通路を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁を排気ガス再循環通路内に配置した内燃機関において、該内燃機関の気筒内に流入する排気ガスの量である筒内流入排気ガス量を、前記排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガ

ス量を利用して算出する筒内流入排気ガス量算出装置において、前記排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが気筒に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、前記通過排気ガス量の変化に対する筒内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを考慮して、筒内流入排気ガス量を算出する。

これによれば、無駄時間と追従遅れとが考慮された形で、筒内流入排気ガス量が直接算出される。

上記課題を解決するために、2番目の発明では、吸気通路と排気通路とを排気ガス再循環通路を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁を排気ガス再循環通路内に配置した内燃機関において、前記排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガス量を、該通過排気ガス量を変化させるパラメータを利用して算出し、該算出された通過排気ガス量を利用して、内燃機関の気筒内に流入する排気ガスの量である筒内流入排気ガス量を算出する筒内流入排気ガス量算出装置において、前記パラメータの値を読み込み、該読み込み値に、前記排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが気筒に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、前記通過排気ガス量の変化に対する筒内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを反映させ、該無駄時間と追従遅れが反映された読み込み値を利用して通過排気ガス量を算出する。

これによれば、実質的に、無駄時間と追従遅れとが考慮された形で、筒内流入排気ガス量が直接算出される。

3番目の発明では、1または2番目の発明において、上記追従遅れが一次遅れであり、該一次遅れの時定数と上記無駄時間とが機関回転数に応じて変更される。

4番目の発明では、1～3番目の発明のいずれか1つにおいて、内燃機関が複数個の気筒を備えており、上記算出された筒内流入排気ガス量に対する各気筒における実際の筒内流入排気ガス量の比を分配係数として予め求めておき、上記算出された筒内流入排気ガス量に該分配係数を乗することによって各気筒における筒内流入排気ガス量を算出する。

5番目の発明では、1～4番目の発明のいずれか1つにおいて、内燃機関が複数個の気筒を備えており、上記追従遅れと無駄時間とが各気筒毎に設定されてい

る。

6番目の発明では、吸気弁の閉弁タイミングを変更可能な1～5番目の発明のいずれか1つにおいて、吸気弁の閉弁タイミングに応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される。

7番目の発明では、機関運転状態に応じて上記排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガスの流速が変更せしめられる1～5番目の発明のいずれか1つにおいて、上記通路容積またはガスの流速に応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される。

【0008】

8番目の発明では、機関運転状態に応じて上記排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガスの流速が変更せしめられると共に、上記通過排気ガス量を吸気通路内の圧力と該吸気通路内の圧力以外のパラメータとの関数でもって表された関数式を予め求めて記憶しておき、該関数式を利用して吸気通路内の圧力から通過排気ガス量を算出する1番目の発明において、上記通路容積またはガスの流速に応じて上記吸気通路内の圧力以外のパラメータを変更する。

上記課題を解決するために、9番目の発明では、吸気通路と排気通路とを排気ガス再循環通路を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁を排気ガス再循環通路内に配置した内燃機関において、吸気通路内に流入する排気ガスの量である吸気通路内流入排気ガス量を、前記排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガス量を利用して算出する吸気通路内流入排気ガス量算出装置において、前記排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが吸気通路に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、前記通過排気ガス量の変化に対する吸気通路内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを考慮して、吸気通路内流入排気ガス量を算出する。

上記課題を解決するために、10番目の発明では、吸気通路と排気通路とを排

・ 気ガス再循環通路を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁を排気ガス再循環通路内に配置した内燃機関において、前記排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガス量を、該通過排気ガス量を変化させるパラメータを利用して算出し、該算出された通過排気ガス量を利用して、吸気通路内に流入する排気ガスの量である吸気通路内流入排気ガス量を算出する吸気通路内流入排気ガス量算出装置において、前記パラメータの値を読み込み、該読み込み値に、前記排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが吸気通路に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、前記通過排気ガス量の変化に対する吸気通路内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを反映させ、該無駄時間と追従遅れが反映された読み込み値を利用して通過排気ガス量を算出する。

11番目の発明では、9または10番目の発明において、上記追従遅れが一次遅れであり、該一次遅れの時定数と上記無駄時間とが機関回転数に応じて変更される。

【0009】

12番目の発明では、9～11番目の発明のいずれか1つにおいて、内燃機関が複数個の気筒を備えており、上記排気ガス再循環通路が各気筒にそれぞれ接続された吸気通路に接続されており、上記算出された吸気通路内流入排気ガス量に対する各気筒に接続された吸気通路への実際の吸気通路内流入排気ガス量の比を分配係数として求めめておき、上記算出された吸気通路内流入排気ガス量に該分配係数を乗することによって各気筒に接続された吸気通路内への吸気通路内流入排気ガス量を算出する。

13番目の発明では、9～12番目の発明のいずれか1つにおいて、内燃機関が複数個の気筒を備えており、上記追従遅れと無駄時間とが各気筒毎に設定されている。

14番目の発明では、9～13番目の発明のいずれか1つにおいて、内燃機関の吸気弁の閉弁タイミングを変更可能であり、該吸気弁の閉弁タイミングに応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される。

15番目の発明では、吸気弁の閉弁タイミングを変更可能な9～14番目の発

明のいずれか1つにおいて、吸気弁の閉弁タイミングに応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される。

18番目の発明では、機関運転状態に応じて上記排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガス流速が変更せしめられる9～14番目の発明のいずれか1つにおいて、上記通路容積またはガスの流速に応じて上記追従遅れの設定値および無駄時間の設定値が変更される。

17番目の発明では、機関運転状態に応じて上記排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガス流速が変更せしめられると共に、上記通過排気ガス量を吸気通路内の圧力と該吸気通路内の圧力以外のパラメータとの関数でもって表された関数式を予め求めて記憶しておき、該関数式を利用して吸気通路内の圧力から通過排気ガス量を算出する9番目の発明において、上記通路容積またはガスの流速に応じて上記吸気通路内の圧力以外のパラメータを変更する。

【0010】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。

図1は本発明が適用される内燃機関の全体図である。以下で説明では、筒内噴射型火花点火式内燃機関を例にとって説明するが、本発明は別の火花点火式内燃機関や圧縮自着火式内燃機関に適用可能である。

図1において、1は機関本体、2はシリンダブロック、3はピストン、4はシリンダヘッド、5は気筒（燃焼室）、6は吸気弁、7は吸気ポート、8は排気弁、9は排気ポート、10は点火プラグ、11は燃料噴射弁、12はキャビティをそれぞれ示している。

【0011】

吸気ポート7は各気筒5毎に吸気枝管13を介してサージタンク14に連結される。サージタンク14は上流側吸気管15を介してエアクリーナ16に連結さ

れる。上流側吸気管15内には、ステップモータ17によって駆動されるスロットル弁18が配置される。

一方、排気ポート9は排気管19に連結される。排気管19は排気浄化装置20に連結される。

【0012】

排気管19は、排気ガス再循環通路（以下、EGR通路と称す）を介して吸気枝管13に接続される。また、EGR通路21内には、EGR通路21内を流れる排気ガスの流量を制御するEGR制御弁22が配置される。内燃機関の気筒5から排出された排気ガスは、このEGR通路21を介して、再び、気筒内に導入される。本明細書では、このEGR通路21を介して気筒内に再循環される排気ガスをEGRガスとも称する。

【0013】

電子制御ユニット（ECU）31はデジタルコンピュータからなり、双方向性バス32を介して相互に接続されたRAM（ランダムアクセスメモリ）33、ROM（リードオンリメモリ）34、CPU（マイクロプロセッサ）35、入力ポート36および出力ポート37を具備する。

吸気枝管13には、当該吸気枝管13内の圧力（以下、吸気管圧力と称す）を検出するための吸気管圧力センサ40が取り付けられる。吸気管圧力センサ40は、吸気管圧力に比例した出力電圧を発生し、この出力電圧は対応するAD変換器38を介して入力ポート36に入力される。

【0014】

また、内燃機関は、スロットル弁18の開度を検出するためのスロットル開度センサ43と、内燃機関周囲の大気の圧力、または、上流側吸気管15に吸入される空気の圧力（吸気圧）を検出するための大気圧センサ44と、内燃機関周囲の大気の温度、または、上流側吸気管15に吸入される空気の温度（吸気温）を検出するための大気温センサ45とを具備する。これらセンサ44、45は、それぞれ、大気圧および大気温度に比例した出力電圧を発生し、これら出力電圧は対応するAD変換器38を介して入力ポート36に入力される。

【0015】

また、アクセルペダル46には、アクセルペダル46の踏込み量に比例した出力電圧を発生する負荷センサ47が接続される。負荷センサ47の出力電圧は、対応するA/D変換器38を介して入力ポート36に入力される。

また、内燃機関はクランク角センサ48を具備する。クランク角センサ48は、例えば、クランクシャフトが30度回転する毎に出力パルスを発生し、この出力パルスが入力ポート36に入力される。CPU35は、クランク角センサ45の出力パルスから機関回転数を算出する。

【0016】

一方、出力ポート37は対応する駆動回路39を介して点火プラグ10、燃料噴射弁11、ステップモータ17、および、EGR制御弁22に接続される。なお、EGR制御弁22の開度は、出力ポート37からEGR制御弁22へ送られたステップ信号に基づいてECU31において算出される。

【0017】

ところで、燃料噴射弁10から気筒5内に噴射すべき燃料の量（以下、単に、燃料噴射量と称す）は、気筒5内に充填された空気の量に基づいて、気筒5内の混合ガスの空燃比が目標空燃比となるように決定される。したがって、気筒5内の混合ガスの空燃比を正確に目標空燃比とするためには、気筒5内に充填された空気の量（以下、筒内充填空気量と称す）を正確に把握する必要がある。

ここで、筒内充填空気量を推定する方法としては、スロットル弁18を通過する空気の質量流量を検出するエアフローメータやその他のセンサを内燃機関に取り付けると共に、これらセンサの出力値を変数とする筒内充填空気量算出用のマップを予め用意しておく、センサの出力値とマップとから筒内充填空気量を推定する方法がある。

【0018】

ところが、マップを利用して筒内充填空気量を推定する場合、筒内充填空気量を正確に推定するためには、マップの数やその引数を多くしなければならない。しかしながら、マップの数を多くすると、これらマップを記憶しておくROM34の記憶容量を大きくしなければならず、内燃機関のコストが高くなってしまう。

さらに、マップを利用して筒内充填空気量を推定する場合、内燃機関の機種ごと、あるいは、同機種の内燃機関であっても個々の内燃機関ごとに、マップを作成しなければならないので、マップの作成労力が大きくなる。

一方、筒内充填空気量をより正確に推定しようとして、マップの引数を多くすると、マップの作成労力が大幅に大きくなってしまう。

【0019】

そこで、マップの代わりに、モデルから導き出される式を利用した数値計算によって、筒内充填空気量を算出する方法が検討され、こうした方法が本願出願人によって既に出願されている（特願2001-316350号）。

この本願出願人によって既に出願されている方法は、気筒内に排気ガスが再循環されない内燃機関に適用される方法であるので、本実施形態のEGR装置付きの内燃機関にそのまま適用することはできないが、本実施形態に適用可能な後述する方法を理解する上で参考になると思われる所以、まず、この本願出願人によって既に出願されている方法について説明する。

【0020】

本願出願人によって既に出願されている方法は、図2に示したモデル（以下、筒内流入ガス量モデルと称す）から導き出される。

図2に示した筒内流入ガス量モデルM20は、スロットルモデルM21と、吸気管モデルM22と、吸気弁モデルM23とからなる。

【0021】

スロットルモデルM21には、スロットル開度センサ43によって検出されたスロットル弁18の開度（スロットル開度） θ_t と、大気圧センサ45によって検出された大気圧 P_a と、大気温センサ44によって検出された大気温度 T_a と、吸気管モデルM22において算出される吸気枝管13内の圧力（以下、吸気管圧力と称す） P_m とが入力され、当該モデルM21において、これら入力されたパラメータから、単位時間当たりにスロットル弁18を通過する空気の流量（以下、スロットル弁通過空気流量と称す） m_t が算出される。

【0022】

また、吸気管モデルM22には、上述したスロットルモデルM21において算

出されたスロットル弁通過空気流量 m_t と、吸気弁モデルM23において算出される単位時間当たりに気筒5内に流入するガスの流量（以下、筒内流入ガス流量と称す） m_c と、大気温度 T_a とが入力され、当該モデルM22において、これら入力されたパラメータから、吸気管圧力 P_m と、吸気枝管13内のガスの温度（以下、吸気管温度と称す） T_m とが算出される。

【0023】

また、吸気弁モデルM23には、上述した吸気管モデルM22において算出された吸気管圧力 P_m と、吸気管温度 T_m と、大気温度 T_a とが入力され、当該モデルM23において、これら入力されたパラメータから、筒内流入ガス流量 m_c が算出される。

そして、この方法では、後述するように、筒内流入ガス流量 m_c を利用して気筒5内に流入したガスの量（以下、筒内充填ガス量と称す） M_c が算出される。

【0024】

図2から分かるように、筒内流入ガス量モデルM20では、各モデルにおいて算出されるパラメータ値が別のモデルに入力されるパラメータ値として利用されるので、筒内流入ガス量モデルM20に実際に入力されるパラメータ値は、スロットル開度 θ_t 、大気圧 P_a 、および、大気温度 T_a の3つのパラメータのみである。すなわち、この方法によれば、3つのパラメータから筒内充填ガス量 M_c が算出されると言える。

【0025】

次に、各モデルM21～M23について詳細に説明する。

スロットルモデルM21では、大気圧 P_a と大気温度 T_a と吸気管圧力 P_m とスロットル開度 θ_t とを次式（1）に入力し、この式を解くことによって、スロットル弁通過空気流量 m_t が算出される。

【数1】

$$m_t = \mu_t(\theta_t) \cdot A_t(\theta_t) \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T_s}} \cdot \Phi\left(\frac{P_m}{P_a}\right) \quad \dots (1)$$

式(1)において、 μ_t はスロットル弁における流量係数であり、スロットル開度 θ_t の関数であって、図3に示したマップから定まる。また、 A_t はスロットル弁の開口断面積であり、スロットル開度 θ_t の関数であって、図4に示したマップから定まる。なお、これら流量係数 μ_t および開口断面積 A_t をまとめた $\mu_t \cdot A_t$ をスロットル開度 θ_t の関数で1つのマップから求めるようにしてもよい。また、Rは気体定数に関する定数であり、いわゆる気体定数 R^* を1モル当たりの空気の質量 M_a で除算した値である ($R = R^* / M_a$)

【0026】

また、 $\Phi(P_m/P_a)$ は、次式(2)に示したように、 P_m/P_a を変数とする関数である。

【数2】

$$\Phi\left(\frac{P_m}{P_a}\right) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\kappa}{2(\kappa+1)}} & \dots \frac{P_m}{P_a} \leq \frac{1}{\kappa+1} \\ \sqrt{\left(\frac{\kappa-1}{2\kappa}\right) \cdot \left(1 - \frac{P_m}{P_a}\right) + \frac{P_m}{P_a}} \cdot \left(1 - \frac{P_m}{P_a}\right) & \dots \frac{P_m}{P_a} > \frac{1}{\kappa+1} \end{cases} \dots (2)$$

式(2)において、 κ は比熱比であり、この方法では、一定値としている。

【0027】

なお、関数 $\Phi(P_m/P_a)$ と P_m/P_a との間には、図5に示したような関係がある。そこで、式(2)の代わりに、 P_m/P_a を変数とする関数 $\Phi(P_m/P_a)$

算出用のマップをROM34に予め記憶しておき、 P_m/P_a とこのマップとから関数 $\Phi(P_m/P_a)$ の値を算出するようにしてもよい。

【0028】

なお、これら式(1)および(2)は、スロットル弁18上流の空気の圧力を大気圧 P_a とし、スロットル弁18上流の空気の温度を大気温度 T_a とし、スロットル弁18を通過した空気の圧力を吸気管圧力 P_m として、スロットル弁18に関し、図6に示したようなモデルを基礎として、スロットル弁18上流の空気とスロットル弁18を通過した空気との間において質量保存則、エネルギー保存則、および、運動量保存則上成立する関係式、ならびに、気体の状態方程式、比熱比の定義式($\kappa = C_p/C_v$)、および、マイヤーの関係式($C_p = C_v + R^*$)を利用して導き出される。ここで、 C_p は定圧比熱であり、 C_v は定量比熱であり、 R^* はいわゆる気体定数である。

【0029】

次に、吸気管モデルM22について説明する。吸気管モデルM22では、スロットル弁通過空気流量 m_t と筒内流入ガス流量 m_c と大気温度 T_a とを次式(3)および(4)に入力し、これら式を解くことによって、吸気管圧力 P_m および吸気管温度 T_m が算出される。

【数3】

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{P_m}{T_m} \right) = \frac{R}{V} \cdot (m_t - m_c) \quad \cdots (3)$$

$$\frac{dP_m}{dt} = \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t \cdot T_a - m_c \cdot T_m) \quad \cdots (4)$$

式(3)および(4)において、 V はスロットル弁18から吸気弁6までの吸気管15、サージタンク14、吸気枝管13、および、吸気ポート7(以下、これらまとめて、吸気管部分と称す)のトータルの容積であり、通常、一定値である。

【0030】

なお、これら式（3）および（4）は、吸気管部分に関し、図7に示したようなモデルを基礎にして、吸気管部分に流入する空気と吸気管部分から流出して気筒内に流入する空気との間において質量保存則、および、エネルギー保存則上成立する関係式から導き出される。

【0031】

詳細には、吸気管部分内のトータルの空気量をMとすると、このトータルの空気量Mの時間的変化は、吸気管部分に流入する空気の流量（すなわち、スロットル弁通過空気流量） m_t と吸気管部分から流出して気筒内に流入する空気の流量（すなわち、筒内流入ガス流量） m_c との差に等しいことから、質量保存則上、次式（5）が成立する。

【数4】

$$\frac{dM}{dt} = m_t - m_c \quad \cdots (5)$$

そして、この式（5）と、気体の状態方程式 ($P_m \cdot V = M \cdot R^* \cdot T_m$) とから、上記式（3）が導き出される。

【0032】

また、吸気管部分内の空気のエネルギー量 $M \cdot C_v \cdot T_m$ の時間的変化量は、吸気管部分に流入する空気のエネルギー量と吸気管部分から流出して気筒内に流入する空気のエネルギー量との差に等しいことから、吸気管部分に流入する空気の温度を大気温度 T_a とし、吸気管部分から流出して気筒内に流入する空気の温度を吸気管温度 T_m とすると、エネルギー保存則上、次式（6）が成立する。

【数5】

$$\frac{d(M \cdot C_v \cdot T_m)}{dt} = C_p \cdot m_t \cdot T_a - C_p \cdot m_c \cdot T_m \quad \cdots (6)$$

そして、この式（6）と、上述した気体の状態方程式とから、上記式（4）が導き出される。

【0033】

次に、吸気弁モデルM23について説明する。吸気弁モデルM23では、吸気管圧力 P_m と吸気管温度 T_m と大気温度 T_a とを次式（7）に入力し、この式を解くことによって、筒内流入ガス流量 m_c が算出される。

【数6】

$$m_c = \frac{T_a}{T_m} \cdot (a \cdot P_m - b) \quad \cdots (7)$$

式（7）において、 a および b は、機関回転数NEを変数として求まる値である。また、内燃機関において、吸気弁6の開弁タイミングまたは閉弁タイミングに相当するバルブタイミング、および、開弁時間に相当する作用角の少なくとも一方が変更可能となっている場合には、式（7）において、 a および b は、機関回転数NEとバルブタイミングまたは位相角またはこれら両方とを変数として求まる値である。

別の云い方をすれば、式（7）において、 a は比例係数であり、 b は排気弁8の閉弁時に気筒5内に残存していたガスの量を表す値である。

【0034】

また、式（7）においては、機関運転状態が変化しているとき、すなわち、過渡運転時には、吸気管温度 T_m が大きく変化することがあるので、この吸気管温度 T_m の変化を補償するための補正係数として、理論および経験則から導かれた T_a/T_m が用いられている。

【0035】

なお、式（7）は、吸気弁6に関し、図8に示したようなモデルを基礎にして、筒内流入ガス流量 m_c を以下で詳細に説明するように吸気管圧力 P_m に比例するとみなし、そして、理論および経験則から導き出される。

すなわち、筒内充填ガス量 M_C は、吸気弁6の閉弁時に確定し且つ吸気弁6の閉弁時の気筒5内の圧力に比例する。ここで、吸気弁6の閉弁時の気筒5内の圧力は、吸気弁6上流の空気の圧力（すなわち、吸気管圧力） P_m に等しいとみなせるので、筒内充填ガス量 M_C は吸気管圧力 P_m に比例すると近似できる。

【0036】

一方、筒内充填ガス量 M_C は、吸気弁6の開弁期間中において気筒5内に流入する空気の流量（筒内流入ガス流量） m_c を、吸気弁6の開弁期間に亘って時間積分することによって求まる。すなわち、筒内充填ガス量 M_C と筒内流入ガス流量 m_c との間には、筒内流入ガス流量 m_c の時間積分値が筒内充填ガス量 M_C であるという関係がある。

このように、筒内充填ガス量 M_C が吸気管圧力 P_m に比例し、且つ、筒内充填ガス量 M_C と筒内流入ガス流量 m_c との間に、筒内流入ガス流量 m_c の時間積分値が筒内充填ガス量 M_C であるという関係があることから、筒内流入ガス流量 m_c も吸気管圧力 P_m に比例するとみなせる。

【0037】

したがって、この方法では、筒内流入ガス流量 m_c が吸気管圧力 P_m に比例するとみなし、理論および経験則とから、式（7）が導き出されるのである。

なお、式（7）によって算出される筒内流入ガス流量 m_c は、単位時間当たりに吸気管部分から流出する空気の流量の平均値であるので、筒内流入ガス流量 m_c に、内燃機関の1サイクルにかかる時間を気筒数で割った時間をかけることによって、各気筒5における筒内充填ガス量 M_C が算出される。

【0038】

次に、このことについて、4つの気筒を備えた内燃機関を例にとって、図9を参照して説明する。

図9では、横軸がクランク角度であり、縦軸が単位時間当たりに吸気管部分から気筒5に流入する空気の量である。また、図9に示した例では、吸気行程が第1気筒#1、第3気筒#3、第4気筒#4、第2気筒#2の順で行われる。このように吸気行程が行われると、吸気管部分から各気筒5に流入する空気の流量は、図9において破線で示したように変化し、その結果、吸気管部分から流出する

空気の流量は、図9において実線で示したように変化することになる。

【0039】

そして、吸気管部分から流出する空気の流量（図9の実線）の平均値が筒内流入ガス流量 m_c であり、図9では、破線で示されている。したがって、各気筒5における筒内充填ガス量 M_c は、筒内流入ガス流量 m_c （図9の破線）に、内燃機関の1サイクルにかかる時間（図9に示した例では、クランクシャフトが720°回転するのにかかる時間）を気筒数（図9に示した例では、4つ）で割った時間、すなわち、図9に示した例では、クランクシャフトが180°回転するのにかかる時間をかけることによって算出されるのである。そして、斯くして算出された各気筒5における筒内充填ガス量 M_c は、例えば、図9の斜線に一致することになる。

【0040】

次に、上述した筒内流入ガス量モデルM20を内燃機関に実装したときの筒内充填ガス量 M_c の算出方法について説明する。

筒内充填ガス量 M_c は、筒内流入ガス量モデルM20の各モデルの式（1）～（4）および（7）から求められるが、これら5つの式は、内燃機関に実装されるときには、ECU31で処理可能なように離散化される。すなわち、時刻を t とし、計算間隔（計算周期）を Δt とすると、これら5つの式は、次式（8）～（12）に離散化される。

【数7】

$$m_t(t) = \mu_t(\theta_t(t)) \cdot A_t(\theta_t(t)) \cdot \frac{P_s}{\sqrt{R \cdot T_s}} \cdot \Phi\left(\frac{P_m(t)}{P_s}\right) \quad \cdots (8)$$

$$\Phi\left(\frac{P_m(t)}{P_s}\right) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\kappa}{2(\kappa+1)}} & \dots \frac{P_m(t)}{P_s} \leq \frac{1}{\kappa+1} \\ \sqrt{\left(\frac{\kappa-1}{2\kappa}\right) \cdot \left(1 - \frac{P_m(t)}{P_s}\right) + \frac{P_m(t)}{P_s}} \cdot \left(1 - \frac{P_m(t)}{P_s}\right) & \dots \frac{P_m(t)}{P_s} > \frac{1}{\kappa+1} \end{cases} \quad \cdots (9)$$

$$\frac{P_m}{T_m}(t + \Delta t) = \frac{P_m}{T_m}(t) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(t) - m_c(t)) \quad \cdots (10)$$

$$P_m(t + \Delta t) = P_m(t) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(t) \cdot T_s - m_c(t) \cdot T_m(t)) \quad \cdots (11)$$

$$m_c(t) = \frac{T_s}{T_m(t)} \cdot (a \cdot P_m(t) - b) \quad \cdots (12)$$

【0041】

このように離散化されて内燃機関に実装された筒内流入ガス量モデルM20によれば、スロットルモデルM21において算出される時刻tにおけるスロットル弁通過空気流量 $m_t(t)$ と、吸気弁モデルM23において算出される時刻tにおける筒内流入ガス流量 $m_c(t)$ と、時刻tにおける吸気管温度 $T_m(t)$ とを吸気管モデルM22の式(10)および(11)に入力し、これら式(10)および(11)を解くことによって、時刻 $(t + \Delta t)$ における吸気管圧力 $P_m(t + \Delta t)$ および吸気管温度 $T_m(t + \Delta t)$ が算出される。

【0042】

そして、吸気管モデルM22において算出された吸気管圧力 $P_m(t + \Delta t)$ と時刻tにおけるスロットル開度 $\theta_t(t)$ とをスロットルモデルM21の式(

8) および (9) に入力し、これら式を解くことによって、時刻 ($t + \Delta t$) におけるスロットル弁通過空気流量 m_t ($t + \Delta t$) が算出される。

さらに、吸気管モデルM22において算出された吸気管圧力 P_m ($t + \Delta t$) および吸気管温度 T_m ($t + \Delta t$) を吸気弁モデルM23の式(12)に入力し、この式を解くことによって、時刻 ($t + \Delta t$) における筒内流入ガス流量 m_c ($t + \Delta t$) が算出される。

【0043】

こうした計算を繰り返すことによって、任意の時刻における筒内流入ガス流量 m_c が算出される。そして、こうして算出された筒内流入ガス流量 m_c に、上述したように、1サイクルにかかる時間を気筒数で割った時間をかけることによって、任意の時刻における各気筒の筒内充填ガス量 M_c が算出される。

【0044】

なお、内燃機関の始動時、すなわち、時刻 $t = 0$ においては、吸気管圧力 P_m は大気圧 P_a と等しい ($P_m(0) = P_a$) とされ、一方、吸気管温度 T_m は大気温度 T_a と等しい ($T_m(0) = T_a$) とされ、各モデルM21～M23における計算が開始される。

また、上述した筒内流入ガス量モデルM20において使用される大気圧 P_a および大気温度 T_a として、当該モデルM20の計算が開始されたときの大気圧および大気温度を常に用いてよいし、時刻 t における大気圧 $P_a(t)$ および大気温度 $T_a(t)$ を用いてよい。

【0045】

次に、図1に示したEGR装置付の内燃機関に適用可能な筒内流入ガス量モデルについて説明する。

気筒内に流入するガス中の空気（新気）の流量を筒内流入新気流量 m_{c-air} と称すると、筒内流入新気流量 m_{c-air} は、次式(13)から求まる。

【数8】

$$m_{c-air} = m_c - m_{c-egr} \quad \cdots (13)$$

式(13)において、 m_c は気筒内に流入するガスの流量である筒内流入ガス流量であり、 m_{c-egr} は気筒内に流入するガス中の排気ガスの流量である筒内流入EGRガス流量である。

【0046】

ここで、定常運転時である場合（例えば、スロットル開度、EGR開度、機関回転数などがほぼ一定に維持されている場合）、EGR制御弁22を通過する排気ガスの流量（以下、EGR制御弁通過ガス流量と称す） m_{egr} と、筒内流入EGRガス流量 m_{c-egr} とは等しい ($m_{c-egr} = m_{egr}$)。

このため、式(13)は、次式(14)に書き直せる。

【数9】

$$m_{c-air} = m_c - m_{egr} \quad \cdots (14)$$

【0047】

したがって、筒内流入ガス流量 m_c とEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} とが求まれば、筒内流入新気流量 m_{c-air} が求まり、したがって、吸気弁6の閉弁時に気筒5内に充填されている空気（新気）の量である筒内充填新気量 M_{c-air} が求まる。

そこで、第1実施形態では、筒内流入ガス流量 m_c を算出するための筒内流入ガス量モデルとして、図10に示したモデルM10を用いる。

図10に示した筒内流入ガス量モデルM10は、スロットルモデルM11と、吸気管モデルM12と、吸気弁モデルM13と、EGR制御弁モデルM15とからなる。

【0048】

スロットルモデルM11は、図2に示したスロットルモデルM21と同じモデルであり、吸気弁モデルM13も、図2に示した吸気弁モデルM23と同じモデルであるので、詳細な説明は省略するが、簡単に説明すると、スロットルモデルM11では、スロットル開度 θ_t と大気圧 P_a と大気温度 T_a と吸気管圧力 P_m とを式(1)に入力し、この式を解くことによって、スロットル弁通過空気流量 m_t が算出され、吸気弁モデルM13では、大気温度 T_a と吸気管圧力 P_m と吸気管温度 T_m とを式(7)に入力し、この式を解くことによって、筒内流入ガス流量 m_c が算出される。

【0049】

吸気管モデルM12には、スロットルモデルM11において算出されたスロットル弁通過空気流量 m_t と、吸気弁モデルM13において算出された筒内流入ガス流量 m_c と、大気温度 T_a と、EGR制御弁モデルM15において算出される単位時間当たりにEGR制御弁22を通過する排気ガスの流量（以下、EGR制御弁通過ガス流量と称す） m_{egr} とが入力され、当該モデルM12において、これら入力されたパラメータから吸気管圧力 P_m および吸気管温度 T_m が算出される。

【0050】

また、EGR制御弁モデルM15には、EGR開度 θ_e と大気圧 P_a と大気温度 T_a と吸気管モデルM12において算出された吸気管圧力 P_m と排気温度 T_e とが入力され、当該モデルM15において、これら入力されたパラメータから、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} が算出される。

図10から分かるように、筒内流入ガス量モデルM10では、各モデルにおいて算出されるパラメータ値が別のモデルに入力されるパラメータ値として利用されるので、筒内流入ガス量モデルM10に実際に入力されるパラメータ値は、スロットル開度 θ_t 、EGR開度 θ_e 、大気圧 P_a 、および、大気温度 T_a の4つのパラメータのみである。すなわち、本実施形態によれば、これら4つのパラメータから筒内充填ガス量 M_c が算出されると言える。

【0051】

次に、吸気管モデルM12およびEGR制御弁モデルM15について詳細に説

明する。

吸気管モデルM12では、スロットル弁通過空気流量 m_t と筒内流入ガス流量 m_c と大気温度 T_a とEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} と排気温度 T_e とを次式(15)および(16)に入力し、これら式を解くことによって、吸気管圧力 P_m および吸気管温度 T_m が算出される。

【数10】

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{P_m}{T_m} \right) = \frac{R}{V} \cdot (m_t + m_{egr} - m_c) \quad \cdots (15)$$

$$\frac{dP_m}{dt} = \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t \cdot T_a + m_{egr} \cdot T_e - m_c \cdot T_m) \quad \cdots (16)$$

式(15)および(16)においても、Vはスロットル弁18から吸気弁6までの吸気管部分の容積であり、通常、一定値である。

【0052】

なお、上述した吸気管モデルM22に関して説明したのと同様に、これら式(15)および(16)は、吸気管部分に関し、図11に示したようなモデルを基礎にして、吸気管部分に流入する空気と、吸気管部分に流入する排気ガスと、吸気管部分から流出して気筒内に流入するガスとの間において質量保存則、および、エネルギー保存則上成立する関係式から導き出される。

【0053】

また、EGR制御弁モデルM15では、EGR開度 θ_e と吸気管圧力 P_m と排気圧 P_e と排気温度 T_e とを次式(17)に入力することによって、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} が算出される。

【数11】

$$m_{egr} = \mu_e(\theta_e) \cdot A_e(\theta_e) \cdot \frac{P_e}{\sqrt{R \cdot T_e}} \cdot \Phi\left(\frac{P_m}{P_e}\right) \quad \cdots (17)$$

式(17)において、 μ_e はEGR制御弁22における流量係数であって、EGR開度 θ_e の関数である。また、 A_e はEGR制御弁22の開口断面積であって、EGR開度 θ_e の関数である。また、Rは気体定数に関する定数であり、いわゆる気体定数 R^* を1モル当たりの排気ガスの質量 M_e で除算した値である($R_e = R^*/M_e$)。

【0054】

また、 P_e はEGR制御弁22上流の排気ガスの圧力であり、 T_e はEGR制御弁22上流の排気ガスの温度である。

また、 $\Phi(P_m/P_e)$ は、次式(18)に示したように、 P_m/P_e を変数とする関数である。

【数12】

$$\Phi\left(\frac{P_m}{P_e}\right) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\kappa}{2(\kappa+1)}} & \dots \frac{P_m}{P_e} \leq \frac{1}{\kappa+1} \\ \sqrt{\left\{ \left(\frac{\kappa-1}{2\kappa} \right) \cdot \left(1 - \frac{P_m}{P_e} \right) + \frac{P_m}{P_e} \right\} \cdot \left(1 - \frac{P_m}{P_e} \right)} & \dots \frac{P_m}{P_e} > \frac{1}{\kappa+1} \end{cases} \cdots (18)$$

この式(18)は、式(2)の変数 P_m/P_a を変数 P_m/P_e に置き換えたものである。したがって、 κ は比熱比であり、本実施形態では、一定値である。

【0055】

また、関数 $\Phi(P_m/P_e)$ と P_m/P_e との間にも、図5に示したような関係がある。そこで、式(18)の代わりに、 P_m/P_e を変数とする関数 $\Phi(P_m/P_e)$ 算出用のマップをROM34に予め記憶しておき、 P_m/P_e とこのマップとから関数 $\Phi(P_m/P_e)$ の値を算出するようにしてもよい。

【0056】

なお、これら式(17)および(18)は、EGR制御弁22上流の排気ガスの圧力を排気圧 P_e とし、EGR制御弁22上流の排気ガスの温度を排気温度 T_e とし、EGR制御弁22を通過した排気ガスの圧力を吸気管圧力 P_m として、EGR制御弁に関し、図12に示したようなモデルを基礎にして、EGR制御弁22上流の排気ガスとEGR制御弁22を通過した排気ガスとの間において質量保存則、エネルギー保存則、および、運動量保存則上成立する関係式、ならびに、気体の状態方程式、比熱比の定義式、および、マイヤーの関係式を利用して導き出される。

すなわち、これら式(17)および(18)を導出するまでの基本的な考え方は、スロットル弁通過空気流量を算出するための式(1)および(2)を導出するまでの考え方と同様である。

【0057】

このように、本実施形態によれば、排気圧 P_e と排気温度 T_e と吸気管圧力 P_m とEGR開度 θ_e とを計算式に入力し、数値計算することによって、EGR制御弁通過ガス流量が算出され、したがって、このときに利用されるマップの数が少なくなるので、マップの作成労力を大幅に低減できる。

【0058】

次に、筒内流入ガス量モデルM10を内燃機関に実装したときの筒内充填新気量 M_{c-air} の算出方法について説明する。

筒内充填新気量 M_{c-air} は、筒内流入ガス量モデルM10の各モデルの式(1)～(2)、(7)および(15)～(18)から求められるが、これら7つの式は、内燃機関に実装されるときには、ECU31で処理可能なように離散化される。すなわち、時刻を t とし、計算間隔(計算周期)を Δt とすると、式(1)～(2)および(7)は、それぞれ、上記式(8)～(9)および(12)に離散化さ

れる。

また、式(15)～(18)は、それぞれ、次式(19)～(22)に離散化される。

【数13】

$$\frac{P_m}{T_m}(t + \Delta t) = \frac{P_m}{T_m}(t) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot (m_t(t) + m_{egr}(t) - m_e(t)) \quad \dots (19)$$

$$P_m(t + \Delta t) = P_m(t) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} (m_t(t) \cdot T_a + m_{egr}(t) \cdot T_e(t) - m_e(t) \cdot T_m(t)) \quad \dots (20)$$

$$m_{egr}(t) = \mu_e(\theta_e(t)) \cdot A_e(\theta_e(t)) \cdot \frac{P_e(t)}{\sqrt{R \cdot T_e}} \cdot \Phi\left(\frac{P_m(t)}{P_e(t)}\right) \quad \dots (21)$$

$$\Phi\left(\frac{P_m(t)}{P_e(t)}\right) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\kappa}{2(\kappa+1)}} & \dots \frac{P_m(t)}{P_e(t)} \leq \frac{1}{\kappa+1} \\ \sqrt{\left(\frac{\kappa-1}{2\kappa}\right) \cdot \left(1 - \frac{P_m(t)}{P_e(t)}\right) + \frac{P_m(t)}{P_e(t)}} \cdot \left(1 - \frac{P_m(t)}{P_e(t)}\right) & \dots \frac{P_m(t)}{P_e(t)} > \frac{1}{\kappa+1} \end{cases} \quad \dots (22)$$

【0059】

また、排気圧 P_e および排気温度 T_e を算出するための式も次式(23)および(24)のように離散化される。これら式に関する詳細は後述する。

【数14】

$$P_e(t) = f_1(KL(t), NE(t)) \quad \dots (23)$$

$$T_e(t) = f_2(m_{egr}(t - \Delta t), NE(t)) \quad \dots (24)$$

【0060】

このように離散化されて内燃機関に実装された筒内流入ガス量モデルM10によれば、スロットルモデルM11において算出される時刻 t におけるスロットル弁通過空気流量 $m_t(t)$ と、EGR制御弁モデルM15において算出される時刻 t におけるEGR制御弁通過ガス量 $m_{egr}(t)$ と、吸気弁モデルM13において算出される時刻 t における筒内流入ガス流量 $m_c(t)$ と、時刻 t における排気温度 $T_e(t)$ とを吸気管モデルM12の式(19)および(20)に入力し、これら式を解くことによって、時刻 $(t + \Delta t)$ における吸気管圧力 $P_m(t + \Delta t)$ および吸気管温度 $T_m(t + \Delta t)$ が算出される。

【0061】

そして、吸気管モデルM12において算出された時刻 $(t + \Delta t)$ における吸気管圧力 $P_m(t + \Delta t)$ と、同じく時刻 $(t + \Delta t)$ におけるスロットル開度 $\theta_t(t + \Delta t)$ とをスロットルモデルM11の式(8)および(9)に入力し、これら式を解くことによって、時刻 $(t + \Delta t)$ におけるスロットル弁通過空気流量 $m_t(t + \Delta t)$ が算出される。

さらに、吸気管モデルM12において算出された時刻 $(t + \Delta t)$ における吸気管圧力 $P_m(t + \Delta t)$ および吸気管温度 $T_m(t + \Delta t)$ を吸気弁モデルM13の式(12)に入力し、この式を解くことによって、時刻 $(t + \Delta t)$ における筒内流入ガス流量 $m_c(t + \Delta t)$ が算出される。

【0062】

そして、吸気管モデルM12において算出された時刻 $(t + \Delta t)$ における筒内流入ガス流量 $m_c(t + \Delta t)$ と、前回のルーチンにおいてEGR制御弁モデルM15において算出された時刻 t におけるEGR制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(t)$ とを式(14)に入力し、この式を解くことによって、時刻 $(t + \Delta t)$ における筒内流入新気流量 $m_{c-air}(t + \Delta t)$ が算出される。

【0063】

そして、吸気管モデルM12において算出された時刻 $(t + \Delta t)$ における吸気管圧力 $P_m(t + \Delta t)$ と、同じく時刻 $(t + \Delta t)$ における排気圧 $P_e(t + \Delta t)$ と、同じく時刻 $(t + \Delta t)$ におけるEGR開度 $\theta_e(t + \Delta t)$ とをEGR制御弁モデルM15の式(21)および(22)に入力し、これら式を解く

ことによって、時刻 $(t + \Delta t)$ における EGR 制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(t + \Delta t)$ が算出される。

また、時刻 $(t + \Delta t)$ における機関負荷率 $K_L(t + \Delta t)$ と、同じく時刻 $(t + \Delta t)$ における機関回転数 N_E とを式 (23) に入力し、この式を解くことによって、時刻 $(t + \Delta t)$ における排気圧 $P_e(t + \Delta t)$ が算出される。

【0064】

また、時刻 t における EGR 制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(t)$ と、時刻 $(t + \Delta t)$ における機関回転数 $N_E(t + \Delta t)$ とを式 (24) に入力し、この式を解くことによって、時刻 $(t + \Delta t)$ における排気温度 $T_e(t + \Delta t)$ が算出される。

こうして算出された $m_c(t + \Delta t)$ 、 $m_{egr}(t + \Delta t)$ 、 $m_t(t + \Delta t)$ は、再び、吸気管モデル M12 の式 (19) および (20) に入力される。

こうした計算を繰り返すことによって、任意に時刻における筒内流入新気流量 m_{c-air} が算出される。そして、こうして算出された筒内流入新気流量 m_{c-air} に、上述したように、1 サイクルにかかる時間を気筒数で割った時間をかけることによって、任意の時刻における各気筒の筒内充填新気量 M_{c-air} が算出される。

【0065】

なお、内燃機関の始動時、すなわち、時刻 $t = 0$ においては、吸気管圧力 P_m は大気圧 P_a と等しい ($P_m(0) = P_a$) とされ、吸気管温度 T_m および排気温度 T_e は大気温度 T_a と等しい ($T_m(0) = T_a$ 、 $T_e(0) = T_a$) とされ、各モデル M11～M13 における計算が開始される。

また、上述した筒内流入ガス量モデル M10 において使用される大気圧 P_a および大気温度 T_a として、当該モデル M10 の計算が開始されたときの大気圧および大気温度を常に用いてもよいし、時刻 t における大気圧 $P_a(t)$ および大気温度 $T_a(t)$ を用いてもよい。

【0066】

また、本実施形態では、排気圧 P_e 、排気温度 T_e 、吸気管圧力 P_m 、および、EGR 開度 θ_e の 4 つのパラメータを利用する式 (17) から、EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} が算出されるが、これら 4 つのパラメータを利用するが式 (1)

7) とは異なる式から、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を求めてよいし、あるいは、これら4つのパラメータを引数としたマップから、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を求めてよい。

【0067】

また、本実施形態によれば、EGR制御弁通過ガス流量が精度良く算出されるので、このEGR制御弁通過ガス流量に基づいて算出される筒内充填新気量も精度高く算出され、したがって、空燃比を目標空燃比とするための燃料噴射量が精度良く算出される。

さらに、本実施形態に従って算出されるEGR制御弁通過ガス流量を利用して、EGR制御弁通過ガス量が目標値になるように、EGR開度をフィードバック制御するようにしてもよい。

【0068】

次に、排気圧を算出するための式(23)の導出方法について説明する。

機関負荷率(%)とは、気筒の最大容積を標準状態において占めるガスの量(g)に対して実際に気筒に充填された空気の量(g)の比であり、次式(25)から求まる。

【数15】

$$KL(\%) = \frac{\frac{M_{c-air}}{DSP} \cdot 100}{NCYL \cdot \rho_{astd}} \quad \dots (25)$$

式(25)において、 M_{c-air} は吸気弁が閉弁したときに各気筒内に充填されている新気の量である筒内充填新気量(g)であり、DSPは内燃機関の排気量(リットル)であり、NCYLは気筒数であり、 ρ_{astd} は標準状態(1気圧、25°C)における空気の密度(約1.2g/リットル)である。

【0069】

機関負荷率KLと機関回転数NEと排気圧 P_e との関係を示した図13を参照すると、機関負荷率KLが大きくなると排気圧 P_e が高くなり、機関回転数NEが高くなると排気圧 P_e が高くなることが分かる。そして、排気圧 P_e は、主に、

これら機関負荷率KLと機関回転数NEとに大きく依存しているので、これら機関負荷率KLと機関回転数NEとから求まる排気圧の精度は比較的高い。

【0070】

したがって、排気圧 P_e は、式(23)のように、機関負荷率KLと機関回転数NEとを変数とした関数 $f_1(KL, NE)$ で表せる。第1実施形態では、この関数 $f_1(KL, NE)$ を機関負荷率KLと機関回転数NEとを変数としてマップの形で予めROM34に記憶しておき、機関負荷率KLと機関回転数NEとこのマップとから排気圧 P_e を算出する。

これによれば、排気圧を検出するためのセンサを内燃機関に設ける必要がないので、内燃機関のコストを抑えつつ、排気圧を精度良く検出することができ、引いては、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を精度良く算出することができる。

【0071】

また、EGR装置付きの内燃機関において、センサを用いずに、マップを用いて排気圧を検出する場合、通常、機関回転数、燃料噴射量、燃料点火時期、EGR率（気筒内に充填されたガス量(g)に対する排気ガスの量(g)の割合）といった多くのパラメータを引数としたマップを用いなければならなかった。ところが、本実施形態のように、機関負荷率をパラメータとすることによって、機関負荷率と機関回転数とを引数としたマップを用いればよいので、本実施形態によれば、マップの作成労力を削減できる。

もちろん、内燃機関のコストアップを問題としないのであれば、センサを用いて排気圧を検出するようにしてもよい。

【0072】

また、上述した関数 f_1 から排気圧を算出する場合において、変数として、機関回転数NEの代わりに、筒内充填新気流量 m_{c-air} を用いてもよい。

【0073】

次に、排気温度 T_e を算出するための式(24)の導出方法について説明する。

EGR通路21に新たに流入する排気ガスによってもたらされる熱量を入力熱量と称し、EGR通路21から大気に放出される熱量を放熱量と称すると、EGR

R制御弁通過ガス流量 m_{egr} が多くなると、すなわち、EGR通路21に流入する排気ガスの量が多くなると、放熱量よりも入力熱量のほうが多くなる。したがって、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} が多くなると、排気温度は高くなる。

また、機関回転数が高くなると、気筒から排出される排気ガスの温度自体が高くなる。

すなわち、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} と機関回転数NEと排気温度 T_e との関係は、図14に示したようになる。

【0074】

そして、排気温度 T_e は、主に、これらEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} と機関回転数NEとに大きく依存しているので、これらEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} と機関回転数NEとから求まる排気温度の精度は比較的高い。

したがって、排気温度 T_e は、式(24)のように、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} と機関回転数NEとを変数とした関数 $f_2(m_{egr}, NE)$ で表せる。第1実施形態では、この関数 $f_2(m_{egr}, NE)$ をEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} と機関回転数NEとを変数としてマップの形で予めROM34に記憶しておき、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} と機関回転数NEとこのマップとから排気温度 T_e を算出する。

【0075】

これによれば、排気温度を検出するためのセンサを内燃機関に設ける必要がないので、内燃機関のコストを抑えつつ、排気温度を精度良く検出することができ、引いては、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を精度良く算出することができる。

もちろん、内燃機関のコストアップを問題にしないのであれば、センサを用いて排気温度を検出するようにしてもよい。

【0076】

また、上述したように、気筒から排出される排気ガスの温度は、機関回転数NEに応じて変化するので、機関回転数NEを引数とした一次元マップから排気ガスの温度を求めることができる。

しかしながら、EGR制御弁モデルM15においてEGR制御弁通過ガス流量

m_{egr} を算出する場合、排気温度 T_e として、気筒から排出される排気ガスの温度を用いるよりも、EGR制御弁22上流の排気ガスの温度を用いたほうが、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を精度良く算出することができる。

本実施形態によれば、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を算出するのに用いられる排気温度 T_e として、EGR制御弁22上流の排気ガスの温度を用いることになるので、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を精度良く算出することができる。

【0077】

また、上述した関数 f_2 から排気温度を算出する場合において、変数として、機関回転数NEの代わりに、筒内充填新気流量 m_{c-air} を用いてもよい。

【0078】

ところで、上述した実施形態では、定常運転時であることを前提にし、したがって、吸気管部分に流入する排気ガスの流量（以下、流入排気ガス分流量と称す）がEGR制御弁通過ガス流量に等しく、気筒内に流入する排気ガスの流量（以下、筒内流入排気ガス流量と称す）もEGR制御弁通過ガス流量に等しいとしている。

【0079】

しかしながら、過渡運転時において、例えば、EGR開度が変わり、EGR制御弁通過ガス流量が変わると、流入排気ガス分流量および筒内流入排気ガス流量は、一時的に、EGR制御弁通過ガス流量とは等しくなくなる。すなわち、これら流入排気ガス分流量および筒内流入排気ガス流量は、EGR制御弁通過ガス流量の変化に追従するものの、遅れて変化する。

したがって、過渡運転時において、上述した実施形態において算出される各パラメータ値の精度を高く維持するためには、流入排気ガス分流量や筒内流入排気ガス流量がEGR制御弁通過ガス流量の変化に遅れて変化することを考慮する必要がある。

【0080】

EGR制御弁通過ガス流量が変わったときの流入排気ガス分流量を考察してみると、図15に示したように、流入排気ガス分流量 $m_{egr-egr}$ は、EGR制御弁

通過ガス流量 m_{egr} が変わってから一定の時間 T_d が経過するまでは変化せず、この一定の時間 T_d が経過してから一次遅れを伴いつつEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} に向かって変化する。

【0081】

ここで、一定の時間 T_d は、EGR制御弁22を通過した排気ガスが吸気管部分に到達するまでに要する時間であり、EGR制御弁22を通過した排気ガスの流速が速いほど、したがって、吸気管圧力が低いほど、したがって、機関回転数が大きいほど、短くなる。すなわち、一定の時間（以下、無駄時間と称す） T_d は、図16（A）に示したように、機関回転数の関数である。

【0082】

一方、一次遅れの時定数 τ は、EGR制御弁22を通過した排気ガスの拡散のし易さを代表しており、EGR制御弁22を通過した排気ガスの流速が速いほど、したがって、吸気管圧力が低いほど、したがって、機関回転数が大きいほど、小さくなる。すなわち、時定数 τ も、図16（B）に示したように、機関回転数の関数である。

【0083】

そこで、本実施形態では、無駄時間 T_d1 を図16（A）に示したようなマップの形で予めROM34に記憶しておき、EGR制御弁通過ガス流量が変化したときには、機関回転数NEに基づいて無駄時間 T_d1 を算出し、この無駄時間 T_d1 が経過してから流入排気ガス分流量がEGR制御弁通過ガス流量に向かって変化を開始するものとして、流入排気ガス分流量を算出する。

そして、本実施形態では、時定数 τ_1 を図16（B）に示したようなマップの形で予めROM34に記憶しておき、EGR制御弁通過ガス流量が変化したときには、機関回転数NEに基づいて時定数 τ_1 を算出し、無駄時間 T_d1 が経過してからこの時定数 τ_1 でもってEGR制御弁通過ガス流量に向かって流入排気ガス分流量が変化するものとして、流入排気ガス分流量を算出する。

【0084】

具体的には、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} の算出周期を Δt （sec）で表し、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} の計算回数をkで表すとすると、k番目

の計算ルーチンにおける EGR 制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(k)$ を算出した後に、その時の機関回転数 NE に基づいて図 16 (B) に示したようなマップから時定数 τ_1 を読み込み、この時定数 τ_1 を利用して EGR 制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(k)$ を次式 (26) に従って一次遅れ処理して、k 番目の計算ルーチンが行われた時の一次遅れを伴った流入排気ガス分流量 $m'_{egr-k}(k)$ を算出する。

$$m'_{egr-k}(k) = m'_{egr-k}(k-1) + \Delta t / \tau_1 \cdot (m_{egr}(k) - m'_{egr-k}(k-1)) \quad (26)$$

【0085】

そして、同じく k 番目の計算ルーチンが行われた時の機関回転数 NE に基づいて図 16 (A) に示したようなマップから無駄時間 $T_d 1$ を読み込み、この無駄時間 $T_d 1$ を利用して次式 (27) に従って無駄時間 $T_d 1$ に相当する無駄ルーチン回数 $I_d x 1$ を算出する。

$$I_d x 1 = T_d 1 / \Delta t \quad (27)$$

【0086】

次いで、この無駄ルーチン回数 $I_d x 1$ を利用して流入排気ガス分流量 $m'_{egr-k}(k)$ を次式 (28) に従って無駄時間処理して、k 番目の計算ルーチンが行われた時の流入排気ガス分流量 $m_{egr-k}(k)$ を算出する。

$$m_{egr-k}(k) = m'_{egr-k}(k - I_d x 1) \quad (28)$$

【0087】

こうした流入排気ガス分流量に関する無駄時間および一次遅れの考え方は、筒内流入排気ガス流量に関しても同様に当てはまる。

すなわち、筒内流入排気ガス流量に関する無駄時間 $T_d 2$ を図 17 (A) に示したようなマップの形で予め ROM34 に記憶しておき、EGR 制御弁通過ガス流量が変化したときには、機関回転数 NE に基づいて無駄時間 $T_d 2$ を算出し、この無駄時間 $T_d 2$ が経過してから筒内流入排気ガス流量が EGR 制御弁通過ガス流量に向かって変化を開始するものとして、筒内流入排気ガス流量を算出する。

【0088】

そして、筒内流入排気ガス流量に関する時定数 τ_2 を図 17 (B) に示したよ

うなマップの形で予めROM34に記憶しておき、EGR制御弁通過ガス流量が変化したときには、機関回転数NEに基づいて時定数 τ_2 を算出し、無駄時間Td2が経過してからこの時定数 τ_2 でもってEGR制御弁通過ガス流量に向かって筒内流入排気ガス流量が変化するものとして、筒内流入排気ガス流量を算出する。

【0089】

具体的には、k番目の計算ルーチンにおけるEGR制御弁通過ガス流量m_{egr}(k)を算出した後に、その時の機関回転数NEに基づいて図17(B)に示したようなマップから時定数 τ_2 を読み込み、この時定数 τ_2 を利用してEGR制御弁通過ガス流量m_{egr}(k)を次式(26)に従って一次遅れ処理して、k番目の計算ルーチンが行われた時の一次遅れを伴った筒内流入排気ガス流量m'_{egr-egr}(k)を算出する。

$$m'_{egr-egr}(k) = m'_{egr-egr}(k-1) + \Delta t / \tau_1 \cdot (m_{egr}(k) - m'_{egr-egr}(k-1)) \quad (29)$$

【0090】

そして、同じくk番目の計算ルーチンが行われた時の機関回転数NEに基づいて図17(A)に示したようなマップから無駄時間Td2を読み込み、この無駄時間Td2を利用して次式(29)に従って無駄時間Td2に相当する無駄ルーチン回数Idx2を算出する。

$$Idx2 = Td2 / \Delta t \quad (30)$$

【0091】

次いで、この無駄ルーチン回数Idxを利用して筒内流入排気ガス流量m'_{egr-egr}(k)を次式(31)に従って無駄時間処理して、k番目の計算ルーチンが行われた時の筒内流入排気ガス流量m_{egr-egr}(k)を算出する。

$$m_{egr-egr}(k) = m'_{egr-egr}(k - Idx2) \quad (31)$$

【0092】

なお、EGR制御弁22から気筒までの距離は、EGR制御弁22から吸気管部分までの距離よりも長いので、筒内流入排気ガス流量に関する無駄時間Td2は流入排気ガス分流量に関する無駄時間Td1よりも長い傾向にあり、筒内流入

排気ガス流量に関する時定数 τ_2 は流入排気ガス分流量に関する時定数 τ_1 よりも大きい傾向にある。

【0093】

図18に、上述したように、一次遅れ処理および無駄時間処理を利用して筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を算出するためのルーチンの一例を示した。

図18に示したルーチンでは、始めに、ステップ10において、上述の式(17)に従ってEGR制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(k)$ が算出される。続くステップ11において、機関回転数NEに基づいて図17(B)に示したようなマップから時定数 τ_2 が読み込まれる。

【0094】

そして、続くステップ12において、ステップ10にて算出されたEGR制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(k)$ が一次遅れ処理されて、一次遅れを伴った筒内流入排気ガス流量 $m'_{egr-egr}(k)$ が算出される。すなわち、ここでは、上述の式(29)が利用される。

続くステップ13では、機関回転数NEに基づいて図17(A)に示したようなマップから無駄時間 T_d2 が読み込まれる。そして、続くステップ14において、式(30)に従って無駄ルーチン回数 $I_d \times 2$ が算出される。

【0095】

続くステップ15において、ステップ12にて算出された筒内流入排気ガス流量 $m'_{egr-egr}(k)$ が式(31)に従って無駄時間処理される。

なお、上述した実施形態では、機関回転数NEを変数として無駄時間 T_d (T_d1 , T_d2)および時定数 τ (τ_1 , τ_2)を算出するようにしているが、詳細には、無駄時間 T_d や時定数 τ は、クランクシャフトが 360° 回転するのにかかる時間にほぼ比例するので、例えば、図19に示したように、クランクシャフトが 360° 回転するのにかかる時間 T_{360° を変数として、無駄時間 T_d や時定数 τ のマップを作成するほうが好ましい。

【0096】

ところで、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} は、式(17)を参照すれば分かるように、種々のパラメータ、例えば、EGR制御弁22のステップ数、すなわ

ち、EGR開度 θ_e によって変化する。

したがって、EGR開度 θ_e が変化したときに、このEGR開度 θ_e 自体を無駄時間処理し且つ遅れ処理（なまし処理）し、このように処理された後のEGR開度 θ_e を上述した式（17）に入力することによって、EGR開度 θ_e の変化に伴うEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} の変化に対し、無駄時間と追従遅れとを反映させた形の流入排気ガス分流量 m_{egr-k} 、あるいは、筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ が得られる。

【0097】

例えば、EGR開度 θ_e が変化したときに、機関回転数N Eに基づいて図20(A)に示したようなマップから無駄時間T d 1を算出し、この無駄時間T d 1が経過してからEGR開度 θ_e を変化させ始め、そして、同じく機関回転数N Eに基づいて図20(B)に示したようなマップからなまし数N 1を算出し、このなまし数N 1でもってEGR開度 θ_e の変化をなまし処理し、このようになまし処理されたEGR開度 θ_e に基づいて式（17）から流入排気ガス分流量 m_{egr-k} を算出するようにしてもよい。

【0098】

具体的には、k番目の計算ルーチンが行われるときに、EGR開度 θ_e が、例えば、値 $\theta_e 1$ から値 $\theta_e 2$ に変化したときには、その時の機関回転数N Eに基づいて図20(B)に示したようなマップからなまし数N 1を読み込み、このなまし数N 1を利用してEGR開度 $\theta_e 2$ を次式（32）に従ってなまし処理し、k番目の計算ルーチンが行われた時の追従遅れを伴ったEGR開度 θ_e' （k）を算出する。

$$\theta_e' (k) = \{ (N 1 - 1) \cdot \theta_e (k - 1) + \theta_e 2 \} \quad (32)$$

【0099】

そして、同じくk番目の計算ルーチンが行われた時の機関回転数N Eに基づいて図20(A)に示したようなマップから無駄時間T d 1を読み込み、この無駄時間T d 1を利用して次式（33）に従って無駄時間T d 1に相当する無駄ルーチン回数I d x 1を算出する。

$$I d x 1 = T d 1 / \Delta t \quad (33)$$

【0100】

次いで、この無駄ルーチン回数 $I_{d \times 1}$ を利用して EGR 開度 θ_e' (k) を次式 (34) に従って無駄時間処理して、k 番目の計算ルーチンが行われた時の EGR 開度 θ_e (k) を算出する。

$$\theta_e(k) = \theta_e'(k - I_{d \times 1}) \quad (34)$$

そして、この θ_e (k) を式 (17) に入力して算出される値は、k 番目の計算ルーチンが行われた時の真の流入排気ガス分流量 m_{egr-k} (k) を表している。

【0101】

もちろん、これと同様の考え方が筒内流入排気ガス流量を算出する場合にも当てはまる。

すなわち、EGR 開度 θ_e が変化したときに、機関回転数 N_E に基づいて図 21 (A) に示したようなマップから無駄時間 T_{d2} を算出し、この無駄時間 T_{d2} が経過してから EGR 開度 θ_e を変化させ始め、そして、同じく機関回転数 N_E に基づいて図 21 (B) に示したようなマップからなまし数 N_2 を算出し、このなまし数 N_2 でもって EGR 開度 θ_e の変化をなまし処理し、このようになまし処理された EGR 開度 θ_e に基づいて式 (17) から筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を算出するようにしてもよい。

【0102】

具体的には、k 番目の計算ルーチンが行われるときに、EGR 開度 θ_e が、例えば、値 θ_{e1} から値 θ_{e2} に変化したときには、その時の機関回転数 N_E に基づいて図 21 (B) に示したようなマップからなまし数 N_2 を読み込み、このなまし数 N_2 を利用して EGR 開度 θ_{e2} を次式 (35) に従ってなまし処理し、k 番目の計算ルーチンが行われた時の追従遅れを伴った EGR 開度 θ_e' (k) を算出する。

$$\theta_e'(k) = \{ (N_2 - 1) \cdot \theta_e(k-1) + \theta_{e2} \} \quad (35)$$

【0103】

そして、同じく k 番目の計算ルーチンが行われた時の機関回転数 N_E に基づいて図 21 (A) に示したようなマップから無駄時間 T_{d2} を読み込み、この無駄

時間 T_{d2} を利用して次式（36）に従って無駄時間 T_{d2} に相当する無駄ルーチン回数 I_{dx2} を算出する。

$$I_{dx2} = T_{d2} / \Delta t \quad (36)$$

【0104】

次いで、この無駄ルーチン回数 I_{dx2} を利用して EGR 開度 θ_e' (k) を次式（37）に従って無駄時間処理して、k 番目の計算ルーチンが行われた時の EGR 開度 $\theta_e(k)$ を算出する。

$$\theta_e(k) = \theta_e'(k - I_{dx2}) \quad (37)$$

そして、この $\theta_e(k)$ を式（17）に入力して算出される値は、k 番目の計算ルーチンが行われた時の筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}(k)$ を表している。

なお、上述したなまし数の代わりに、上述した時定数 τ_1, τ_2 を利用してもよい。

【0105】

図22に、上述したように、なまし処理（追従遅れ処理）および無駄時間処理を利用して筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を算出するためのルーチンの一例を示した。

図22に示したルーチンでは、始めに、ステップ20において、k 番目の計算ルーチンにおける EGR 開度 $\theta_e(k)$ が読み込まれる。続くステップ21において、機関回転数NEに基づいて図21(B)に示したようなマップからなまし数 N_2 が読み込まれる。

【0106】

そして、続くステップ22において、ステップ20にて検出された EGR 開度 $\theta_e(k)$ がなまし処理されて、追従遅れを反映させた EGR 開度 $\theta'_e(k)$ が算出される。すなわち、ここでは、上述の式（35）が利用される。

続くステップ23では、機関回転数NEに基づいて図21(A)に示したようなマップから無駄時間 T_{d2} が読み込まれる。そして、続くステップ24において、式（36）に従って無駄ルーチン回数 I_{dx2} が算出される。

続くステップ25において、ステップ22にて算出された追従遅れを反映させ

たEGR開度 $\theta'_e(k)$ が式(37)に従って無駄時間処理される。そして、続くステップ26において、ステップ25にて算出された $\theta_e(k)$ が上述の式(17)に入力され、筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}(k)$ が算出される。

【0107】

ところで、上述の実施形態では、筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を利用して、筒内流入新気量 M_{c-air} を算出し、最終的には、この筒内流入新気量 M_{c-air} に基づいて空燃比が目標空燃比となるように燃料噴射量を決定している。言い換えると、上述の実施形態では、各気筒に関して、筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ が同じ値であることを前提として、燃料噴射量を決定していることになる。

ところが、EGR制御弁22から各気筒までの流路の形状やその他、様々な要因によって、実際の筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ が気筒毎に異なる場合がある。したがって、空燃比がより正確に目標空燃比となるように燃料噴射量を決定するためには、筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ が気筒毎に異なることを考慮すべきである。

【0108】

そこで、上述の実施形態において算出される筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ に対する各気筒における実際の筒内流入排気ガス流量の比を分配係数として、予め実験等によって求め、あるいは、機関運転中に特定の条件が成立する毎に求め、上述の実施形態において算出される筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ にこの分配係数を乗じ、この分配係数が反映された後の筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を利用して、各気筒に関して、燃料噴射量を決定するようにしてもよい。

この方法を採用すれば、空燃比がより正確に目標空燃比となる。

【0109】

なお、各気筒に関する分配係数は、例えば、以下のようにして、予め実験等によって求められ、あるいは、機関運転中に求められる。

すなわち、EGR率(筒内充填排気ガス量/筒内充填ガス量)が最も大きい運転状態において、EGR開度を一定とし且つスロットル開度を一定とした上で、各気筒において同じ量の燃料を噴射し、この時に各気筒から排出される排気ガスの空燃比を検出し、この排気ガスの空燃比の検出値に基づいて、各気筒における

空燃比を推定する。

【0110】

ここで、空燃比がリーンであると推定された気筒に関しては、その気筒内に予想以上に空気が充填されており、したがって、その気筒内に予想したほど排気ガスが充填されていないことになる。この場合、この気筒に関する分配係数は1.0よりも小さくなる。詳細には、推定された空燃比に基づいてこの気筒に関する筒内流入排気ガス流量を逆算し、上述の実施形態にて算出される筒内流入排気ガス流量でこの逆算して算出される筒内流入排気ガス流量を除算すれば、この気筒に関する分配係数が算出される。

一方、空燃比がリッチであると推定された気筒に関しても、同様に考えれば、分配係数が算出可能であり、この場合、分配係数は1.0よりも大きくなる。

【0111】

図23に、上述したように、気筒毎の分配係数を考慮して筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を算出するためのルーチンの一例を示した。以下のルーチンは、4つの気筒を備えている内燃機関に適用される。

図18に示したルーチンでは、始めに、ステップ30において、上述の式(17)に従ってEGR制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(k)$ が算出される。続くステップ31において、機関回転数NEに基づいて図17(B)に示したようなマップから時定数 τ_2 が読み込まれる。

【0112】

そして、続くステップ32において、ステップ30にて算出されたEGR制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(k)$ が一次遅れ処理されて、一次遅れを伴った筒内流入排気ガス流量 $m'_{egr-egr}(k)$ が算出される。すなわち、ここでは、上述の式(29)が利用される。

続くステップ33では、機関回転数NEに基づいて図17(A)に示したようなマップから無駄時間 $Td2$ が読み込まれる。そして、続くステップ34において、式(30)に従って無駄ルーチン回数 $Idx2$ が算出される。

【0113】

続くステップ35において、ステップ32にて算出された筒内流入排気ガス流

量 $m'_{egr-egr}(k)$ が式(31)に従って無駄時間処理される。

そして、最後に、ステップ36において、次式(38)に従って、ステップ35にて算出された筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}(k)$ に、各気筒に関する分配係数 $K_1 \sim K_4$ が乗算され、各気筒に関する筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}(k)$ (1) ~ (4) が算出される。

$$\begin{aligned} m_{egr-egr}(k)(1) &= m_{egr-egr}(k) \cdot K_1 \\ m_{egr-egr}(k)(2) &= m_{egr-egr}(k) \cdot K_2 \\ m_{egr-egr}(k)(3) &= m_{egr-egr}(k) \cdot K_3 \\ m_{egr-egr}(k)(4) &= m_{egr-egr}(k) \cdot K_4 \end{aligned} \quad (38)$$

【0114】

なお、式(38)において、 $m_{egr-egr}(k)$ (1) は第1気筒に関する筒内流入排気ガス流量であり、 K_1 は第1気筒に関する分配係数であり、 $m_{egr-egr}(k)$ (2) は第2気筒に関する筒内流入排気ガス流量であり、 K_2 は第2気筒に関する分配係数であり、 $m_{egr-egr}(k)$ (3) は第3気筒に関する筒内流入排気ガス流量であり、 K_3 は第3気筒に関する分配係数であり、 $m_{egr-egr}(k)$ (4) は第4気筒に関する筒内流入排気ガス流量であり、 K_4 は第4気筒に関する分配係数である。

【0115】

ところで、上述の実施形態では、 EGR制御弁22から各気筒までの流路の形状やその他、様々要因によって、実際の筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ が気筒毎に異なることを考慮して、各気筒毎の分配係数を求め、各気筒毎に筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を求めたが、例えば、EGR制御弁22から各気筒までの流路長が非常に長く、ここでの流路抵抗が非常に大きい場合には、無駄時間や時定数、あるいは、なまし数も異なってくる。

【0116】

そこで、上述の実施形態のように、求められた筒内流入排気ガス流量 m_{egr-eg} r に分配係数を反映させるだけでなく、無駄時間や時定数、あるいは、なまし数に、分配係数を反映させてもよい。すなわち、より具体的には、上述の実施形態においては、求められた筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ にのみ分配係数を乗じ

ているが、さらに、無駄時間および時定数、あるいは、なまし数に、各気筒に関して、同じ分配係数を乗じてもよい。

これによれば、より正確に、各気筒に関して、筒内流入排気ガス流量 m_{egr-eg} _rが算出される。

【0117】

図24に、無駄時間と時定数に各気筒毎の分配係数を反映させて各気筒における筒内流入排気ガス流量 m_{egr-eg} _rを算出するためのルーチンの一例を示した。

図24に示したルーチンでは、始めに、ステップ40において、式(17)からEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} が算出される。続くステップ41では、機関回転数NEに基づいて図17(B)に示したマップから時定数 τ_2 が読み込まれる。続くステップ42では、機関回転数NEに基づいて図17(A)に示したマップから無駄時間Td2が読み込まれる。続くステップ43では、気筒の番号を示すパラメータcy1に1が入力される。この場合、cy1=1となり、パラメータcy1は第1気筒を示すこととなる。

【0118】

続くステップ44では、パラメータcy1が気筒の総数Ncy1以下である($cy1 \leq N_{cy1}$)か否かが判別される。ここで、 $cy1 \leq N_{cy1}$ であると判別されたときには、ルーチンはステップ45に進んで、ここで、上述の式(17)からk番目の計算ルーチンにおけるEGR制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(k)$ が算出される。

【0119】

続くステップ46で、以下の式(39)から対応の気筒に関する時定数 τ_2 ($cy1$)、すなわち、パラメータcy1が1であるときには第1気筒に関する時定数 $\tau_2(1)$ 、パラメータcy1が2であるときには第2気筒に関する時定数 $\tau_2(2)$ が算出される。

$$\tau_2(cy1) = K(cy1) \cdot \tau_2 \quad (39)$$

ここで、 $K(cy1)$ は各気筒に関する分配係数であり、例えば、パラメータcy1が1であるときには第1気筒に関する分配係数K(1)であり、パラメータcy1が2であるときには第2気筒に関する分配係数K(2)である。

【0120】

続くステップ47で、EGR制御弁通過ガス流量 $m_{egr}(k)$ が次式(40)に従って一次処理されて、k番目の計算ルーチンにおける対応の気筒に関する筒内流入排気ガス流量 $m'_{egr-egr}(c_y1)(k)$ が算出される。

$$m'_{egr-egr}(c_y1)(k) = m'_{egr-egr}(c_y1)(k-1) + \Delta t / \tau_2(c_y1) \cdot (m_{egr}(c_y1)(k) - m'_{egr-egr}(c_y1)(k-1)) \quad (40)$$

ここで、 Δt はEGR制御弁通過ガス流量の計算周期である。

【0121】

続くステップ48では、次式(41)に従って対応の気筒に関する無駄時間に相当する無駄ルーチン回数 I_{dx2} が算出される。

$$I_{dx2} = K(c_y1) \cdot T_{d2} / \Delta t \quad (41)$$

続くステップ49では、k番目の計算ルーチンにおける対応する気筒に関する筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}(c_y1)(k)$ が次式(42)から無駄時間処理された形で算出される。

$$m_{egr-egr}(c_y1)(k) = m'_{egr-egr}(c_y1)(k - I_{dx2}) \quad (42)$$

【0122】

続くステップ50では、パラメータ c_y1 が1だけ増大され、ルーチンはステップ44に戻る。したがって、ルーチンがステップ50に到来したときに、パラメータ c_y1 が1である場合には、ステップ50において、パラメータ c_y1 が2とされ、ステップ44～49が繰り返される。

【0123】

そして、ルーチンがステップ50に到来したときに、パラメータ c_y1 が4である場合には、ステップ50において、パラメータ c_y1 が5とされ、ルーチンがステップ44に戻ったときに、このステップ44で、 $c_y1 > N c_y1$ であると判別され、ルーチンはステップ51に進む。すなわち、ステップ44において、 $c_y1 > N c_y1$ であると判別されたときには、全ての気筒に関して筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}(c_y1)(k)$ が算出されたことになる。

なお、ステップ51では、パラメータ c_y1 に零が入力され、すなわち、パラメータ c_y1 がクリアされる。

なお、このルーチンは、 $Td2$ を $Td1$ に変え、 τ_2 を τ_1 に変えれば、各吸気枝管13に流入する流入排気ガス分流量 m_{egr-k} を算出するためのルーチンとしても利用可能である。

【0124】

ところで、吸気弁の閉弁タイミングを変更するためのバルブタイミング変更機構を備えた内燃機関が知られている。例えば、或る1つのバルブタイミング変更機構では、吸気弁の閉弁タイミングを吸気下死点以降で変更可能となっている。

吸気弁が吸気下死点以降で閉弁する場合、いったん気筒内に流入したガスの一部が気筒内のピストンによってその気筒から吸気通路へと排出される。そして、このように気筒から吸気通路へと排出されるガス（以下、吹戻しガスとも称す）の量は、吸気弁が吸気下死点以降のいずれのタイミングで閉弁するかによって異なり、吸気弁が吸気下死点以降のより遅いタイミングで閉弁するほど多くなる。

【0125】

すなわち、吸気弁の閉弁タイミングを吸気下死点以降で変更するバルブタイミング機構を備えた内燃機関では、このバルブタイミング機構によって吸気弁の閉弁タイミングが変更されると、吹戻しガス量が変化する。

ここで、このように気筒から吸気通路へとガスが排出される場合における吸気通路内での排気ガスの拡散について考えると、吹戻しガスの量が多いほど、吸気通路内での排気ガスの拡散が抑制される傾向にある。すなわち、吹戻しガスの量が多いほど、EGR制御弁22を通過して吸気通路内に流入した排気ガスの拡散が抑制される傾向にある。

すなわち、このことは、吹戻しガスの量が多いほど、すなわち、吸気弁の閉弁タイミングが遅いほど、上述の時定数 τ_2 が大きくなることを意味する。

【0126】

さらに、EGR通路21に関して考えると、EGR通路21内の圧力は吸気通路内の圧力よりも大幅に高いので、気筒から吸気通路へとガスが排出されたとしても、このガスがEGR通路21内に流入することはない。したがって、気筒か

ら吸気通路へとガスが排出されたとしても、EGR制御弁22を通過した排気ガスが気筒に到達するのにかかる時間は、さほど、変わらない。

すなわち、このことは、吹戻しガスの量に関わらず、すなわち、吸気弁の閉弁タイミングの如何に関わらず、上述の無駄時間Td2はさほど変化しないことを意味する。

【0127】

そこで、このように吸気弁の閉弁タイミングに応じて、上述の時定数 τ_2 が変化することを考慮して、吸気弁の閉弁タイミングが吸気下死点以降において変更可能となっている内燃機関においては、上述の実施形態において、図25(A)および(B)に示されているような関係でもって、吸気弁閉弁タイミングに応じて無駄時間Td2および時定数 τ_2 を決定してもよい。

【0128】

図25(A)に示されているように、ここでは、吸気弁の閉弁タイミングに相当する吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDC以降の如何なる角度にあっても、無駄時間Td2は一定となっている。

一方、図25(B)に示されているように、ここでは、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDC以降において遅い角度となるほど、時定数 τ_2 は大きくなっている。

【0129】

なお、上述したように、無駄時間Td2や時定数 τ_2 は機関回転数NEにも依存しているので、無駄時間Td2および時定数 τ_2 を機関回転数NEと吸気弁閉弁タイミングとの関数として決定するようにしてもよい。

例えば、この場合、吸気弁の閉弁タイミングが吸気下死点であるときにおける無駄時間Td2および時定数 τ_2 を機関回転数NEを変数として、図17(A)および(B)に示されているようなマップの形で求め求めてROM34に記憶しておく。

【0130】

そして、無駄時間としては、機関回転数NEに基づいて図17(A)に示されているマップから求められた無駄時間Td2に、吸気弁閉弁クランク角度CAに

基づいて図26（A）に示されているマップから求められる補正係数 $K_{t\,d}$ を乗じた値を用いる。この場合、図26（A）から分かるように、補正係数 $K_{t\,d}$ は、吸気弁閉弁クランク角度CAの如何に関わらず、1.0で一定であるので、実質的には、図17（A）に示されているマップから求められた無駄時間 $T_{d\,2}$ がそのまま用いされることになる。

【0131】

一方、時定数としては、機関回転数NEに基づいて図17（B）に示されているマップから求められた時定数 τ_2 に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図26（B）に示されているマップから求められる補正係数 K_τ を乗じた値を用いる。この場合、図26（B）から分かるように、補正係数 K_τ は、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDCにあるときには、1.0であり、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDCよりも遅くなるほど、大きくなる値である。

【0132】

なお、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点以降において変更可能となっている内燃機関では、図25（A）および（B）に示されている関係と同様な関係でもって、上述の無駄時間 $T_{d\,1}$ および時定数 τ_1 を決定するようにしてもよい。この場合、無駄時間 $T_{d\,1}$ および時定数 τ_1 は無駄時間 $T_{d\,2}$ および時定数 τ_2 よりも小さい値となる。

【0133】

さらに、無駄時間 $T_{d\,1}$ および時定数 τ_1 を機関回転数NEと吸気弁閉弁タイミングとの関数として決定するようにしてもよい。

例えば、この場合、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点であるときにおける無駄時間 $T_{d\,1}$ および時定数 τ_1 を機関回転数NEを変数として、図16（A）および（B）に示されているようなマップの形で予め求めてROM34に記憶しておく。

【0134】

そして、無駄時間としては、機関回転数NEに基づいて図16（A）に示されているマップから求められた無駄時間 $T_{d\,1}$ に、吸気弁閉弁クランク角度CAに

基づいて図26（A）に示されているマップから求められる補正係数 K_{td} を乗じた値を用いる。この場合、図26（A）から分かるように、補正係数 K_{td} は、吸気弁閉弁クランク角度CAの如何に関わらず、1.0で一定であるので、実質的には、図16（A）に示されているマップから求められた無駄時間 T_{d1} がそのまま用いられることになる。

【0135】

一方、時定数としては、機関回転数NEに基づいて図16（B）に示されているマップから求められた時定数 τ_1 に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図26（B）に示されているマップから求められる補正係数 K_τ を乗じた値を用いる。この場合、図26（B）から分かるように、補正係数 K_τ は、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDCにあるときには、1.0であり、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDCよりも遅くなるほど、大きくなる値である。

【0136】

ところで、吸気弁の閉弁タイミングを吸気下死点以前で変更するバルブタイミング機構を備えた内燃機関では、このバルブタイミング機構によって吸気弁の閉弁タイミングが変更されると、吹戻しガス量はほとんど零であるが、気筒内に充填されるトータルのガス量は変化する。

ここで、このように吹戻しガス量がほとんど零であると、吸気弁の閉弁タイミングが吸気下死点以前において変化しても、この吸気弁の閉弁タイミングの変化は、吸気通路内での排気ガスの拡散には何ら影響しない。

すなわち、このことは、吸気弁の閉弁タイミングに関わらず、上述の時定数 τ_2 は一定であることを意味する。

【0137】

一方、気筒内に充填されるトータルのガス量が変化する場合におけるEGR制御弁22から気筒まで排気ガスが到達するのにかかる時間について考えると、気筒内に充填されるトータルのガス量が少ないほど、この時間は長くなる傾向にある。

【0138】

すなわち、このことは、気筒内に充填されるトータルのガス量が少ないほど、すなわち、吸気弁の閉弁タイミングが吸気下死点以前の範囲内で早いほど、上述の無駄時間 T_{d2} が長くなることを意味する。

【0139】

このように吸気弁の閉弁タイミングに応じて、上述の無駄時間 T_{d2} が変化することを考慮して、吸気弁の閉弁タイミングが吸気下死点以前において変更可能となっている内燃機関においては、上述の実施形態において、図27(A)および(B)に示されているような関係でもって、吸気弁の閉弁タイミングに応じて無駄時間 T_{d2} および時定数 τ_2 を決定してもよい。

図27(A)に示されているように、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDC以前において早い角度となるほど、無駄時間 T_{d2} は大きくなっている。

【0140】

一方、図27(B)に示されているように、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDC以前の如何なる角度にあっても、時定数 τ_2 は一定となっている。

なお、上述したように、無駄時間 T_{d2} や時定数 τ_2 は機関回転数NEにも依存しているので、無駄時間 T_{d2} および時定数 τ_2 を機関回転数NEと吸気弁閉弁タイミングとの関数として決定するようにしてもよい。

例えば、この場合、吸気弁の閉弁タイミングが吸気下死点であるときにおける無駄時間 T_{d2} および時定数 τ_2 を機関回転数NEを変数として、図17(A)および(B)に示されているようなマップの形で求め求めてROM34に記憶しておく。

【0141】

そして、無駄時間としては、機関回転数NEに基づいて図17(A)に示されているマップから求めた無駄時間 T_{d2} に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図28(A)に示されているマップから求められる補正係数 K_{td} を乗じた値を用いる。この場合、図28(A)から分かるように、補正係数 K_{td} は、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDCにあるときには、1.0であり、

吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDCよりも早くなるほど、大きくなる値である。

【0142】

一方、時定数としては、機関回転数NEに基づいて図17（B）に示されているマップから求められた時定数 τ_2 に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図28（B）に示されているマップから求められる補正係数 K_{τ} を乗じた値を用いる。この場合、図28（B）から分かるように、補正係数 K_{τ} は、吸気弁閉弁クランク角度CAの如何に関わらず、1.0で一定であるので、実質的には、図17（B）に示されているマップから求められた時定数 τ_2 がそのまま用いられることとなる。

【0143】

なお、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点以前において変更可能となっている内燃機関では、図27（A）および（B）に示されている関係と同様な関係でもって、上述の無駄時間Td1および時定数 τ_1 を決定するようにしてもよい。この場合、無駄時間Td1および時定数 τ_1 は無駄時間Td2および時定数 τ_2 よりも小さい値となる。

【0144】

さらに、無駄時間Td1および時定数 τ_1 を機関回転数NEと吸気弁閉弁タイミングとの関数として決定するようにしてもよい。

例えば、この場合、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点であるときにおける無駄時間Td1および時定数 τ_1 を機関回転数NEを変数として、図16（A）および（B）に示されているようなマップの形で予め求めてROM34に記憶しておく。

【0145】

そして、無駄時間としては、機関回転数NEに基づいて図16（A）に示されているマップから求められた無駄時間Td1に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図28（A）に示されているマップから求められる補正係数 K_{td} を乗じた値を用いる。この場合、図28（A）から分かるように、補正係数 K_{td} は、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点BDCにあるときには、1.0であ

り、吸気弁閉弁クランク角度CAが吸気下死点よりも早くなるほど、大きくなる値である。

【0146】

一方、時定数としては、機関回転数NEに基づいて図16（B）に示されているマップから求められた時定数 τ_1 に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図28（B）に示されているマップから求められる補正係数 K_τ を乗じた値を用いる。この場合、図28（B）から分かるように、補正係数 K_τ は、吸気弁閉弁クランク角度CAの如何に関わらず、1.0で一定であるので、実質的には、図16（B）に示されているマップから求められた時定数 τ_1 がそのまま用いられる。

【0147】

ところで、吸気弁閉弁タイミングを吸気下死点を跨いで変更可能なバルブタイミング機構を備えた内燃機関の知られている。こうしたバルブタイミング機構は、例えば、電磁的に吸気弁の開弁したり閉弁したりするメカニズムを採用している。

このように吸気下死点を跨いで吸気弁閉弁タイミングを変更可能な場合、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点以前で変更されるのか、あるいは、吸気下死点以後で変更されるのかによって、上述の無駄時間Td2および時定数 τ_2 が異なってくる。

【0148】

ここで、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点以前で変更される場合においては、無駄時間Td2および時定数 τ_2 は、図27に関連して説明したような傾向を示す。一方、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点以後で変更される場合においては、無駄時間Td2および時定数 τ_2 は、図25に関連して説明したような傾向を示す。

【0149】

そこで、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点を跨いで変更可能となっている内燃機関においては、上述の実施形態において、図29（A）および（B）に示されているような関係でもって、吸気弁閉弁タイミングに応じて無駄時間Td2お

より時定数 τ_2 を決定してもよい。

【0150】

図29（A）に示されているように、ここでは、吸気下死点BDC以前の領域では、吸気弁閉弁クランク角度CAが早い角度となるほど、無駄時間Td2は大きくなってしまい、吸気下死点BDC以降の領域では、吸気弁閉弁クランク角度CAに関わらず、無駄時間Td2は一定となっている。

一方、図29（B）に示されているように、ここでは、吸気下死点BDC以前の領域では、吸気弁閉弁クランク角度CAに関わらず、時定数 τ_2 は一定となってしまい、吸気下死点BDC以降の領域では、吸気弁閉弁クランク角度CAが遅くなるほど、時定数 τ_2 は大きくなっている。

なお、上述したように、無駄時間Td2や時定数 τ_2 は機関回転数NEにも依存しているので、無駄時間Td2および時定数 τ_2 を機関回転数NEと吸気弁閉弁タイミングとの関数として決定するようにしてもよい。

【0151】

例えば、この場合、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点であるときにおける無駄時間Td2および時定数 τ_2 を機関回転数NEを変数として、図17（A）および（B）に示されているようなマップの形で予め求めてROM34に記憶しておく。

【0152】

そして、無駄時間としては、機関回転数NEに基づいて図17（A）に示されているマップから求められた無駄時間Td2に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図30（A）に示されているマップから求められる補正係数Ktdを乗じた値を用いる。ここで、図30（A）のマップでは、吸気下死点BDC以前の領域では、吸気弁閉弁クランク角度CAが早くなるほど、補正係数Ktdは大きくなり、吸気下死点BDC以降の領域では、吸気弁閉弁クランク角度CAの如何に関わらず、補正係数Ktdは、1.0で一定である。

【0153】

一方、時定数としては、機関回転数NEに基づいて図17（B）に示されているマップから求められた時定数 τ_2 に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて

図30（B）に示されているマップから求められる補正係数 K_{τ} を乗じた値を用いる。ここで、図30（B）のマップでは、吸気下死点BDC以前の領域では、吸気弁閉弁クランク角度CAの如何に関わらず、補正係数 K_{τ} は、1.0で一定であり、吸気下死点BDC以降の領域では、吸気弁閉弁クランク角度CAが遅くなるほど、補正係数 K_{τ} は大きくなる。

なお、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点を跨いで変更可能となっている内燃機関では、図29（A）および（B）に示されている関係と同様な関係でもって、上述の無駄時間Td1および時定数 τ_1 を決定するようにしてもよい。この場合、無駄時間Td1および時定数 τ_1 は無駄時間Td2および時定数 τ_2 よりも小さい値となる。

【0154】

さらに、無駄時間Td1および時定数 τ_1 を機関回転数NEと吸気弁閉弁タイミングとの関数として決定するようにしてもよい。

例えば、この場合、吸気弁閉弁タイミングが吸気下死点であるときにおける無駄時間Td1および時定数 τ_1 を機関回転数NEを変数として、図16（A）および（B）に示されているようなマップの形で予め求めてROM34に記憶しておく。

【0155】

そして、無駄時間としては、機関回転数NEに基づいて図16（A）に示されているマップから求められた無駄時間Td1に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図30（A）に示されているマップから求められる補正係数 K_{td} を乗じた値を用いる。

【0156】

一方、時定数としては、機関回転数NEに基づいて図16（B）に示されているマップから求められた時定数 τ_1 に、吸気弁閉弁クランク角度CAに基づいて図30（B）に示されているマップから求められる補正係数 K_{τ} を乗じた値を用いる。

【0157】

ところで、上述の実施形態では、EGR制御弁通過ガス流量megrを計算式、

すなわち、式（17）および（18）を利用して算出しているが、本願発明者は、こうした計算式を利用しなくとも、比較的簡便にEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を算出する方法を考案した。したがって、上述の実施形態において、式（17）および（18）を利用する代わりに、以下に説明する方法を利用して、EGR制御弁通過ガス流量を算出してもよい。

【0158】

筒内充填ガス量 M_c は吸気弁6が閉弁したときの吸気管圧力 P_m の一次関数式で表されることが知られている。すなわち、理論および経験則によれば、筒内充填ガス量 M_c は吸気弁6が閉弁したときの筒内圧力に比例し、この筒内圧力は吸気弁6上流の混合ガス圧力、すなわち、吸気管圧力 P_m にほぼ一致する。

EGRガスが供給されていないときには筒内に新気のみが充填されるので、このときの筒内充填新気量 M_{c-air} 、したがって、機関負荷率 K_L を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができる。すなわち、機関負荷率 K_L を簡単に且つ正確に求めることができる。

【0159】

ところが、EGRガスが供給されているときには状況が全く異なり、筒内には新気だけでなくEGRガスも充填される。このため、従来では、筒内充填新気量 M_{c-air} 、または、機関負荷率 K_L を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことは到底できないと考えられていたのである。

筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができるならば、筒内充填ガス量 M_c を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができ、筒内充填ガス量 M_c が筒内充填新気量 M_{c-air} と筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} との和であることを考えれば、EGRガスが供給されているときの筒内充填新気量 M_{c-air} 、または、機関負荷率 K_L を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができる。

【0160】

しかしながら、従来では、筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} も吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができないと考えられていたのである。このことを図12および図31を参照しながら説明する。

まず、上述したように、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} (g/sec) は式(17)により表され、関数 $\Phi(P_m/P_e)$ は、式(18)により表される。

【0161】

ここで、計算を簡単にするために排気圧 P_e が大気圧 P_a であるとすると、式(17)により表されるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} は図31のようになる。すなわち、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} は吸気管圧力 P_m が小さいときにはほぼ一定に維持され、吸気管圧力 P_m が高くなると図31においてNRで示されるように吸気管圧力 P_m に対し非線形性を示しながら大気圧 P_a に向けて減少する。なお、この非線形性部分NRは式(17)のうち $P_e/\sqrt{T_e}$ の部分および関数 $\Phi(P_m/P_e)$ によるものである。

【0162】

したがって、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} 、とりわけ非線形性部分NRを吸気管圧力 P_m の一次関数式により表すことはできないものと考えられていたのである。もっとも、かなり多くの数の一次関数式を用いれば、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を吸気管圧力 P_m の一次関数式により表すことができると考えられる。しかしながら、この場合には、もはや機関負荷率 K_L を簡単に求めているとは言えない。

【0163】

ところが、本願発明者らによれば、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式で表すことができ、したがって、筒内充填新気量 M_{c-air} 、または、機関負荷率 K_L を吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式で表すことができる事が判明したのである。

すなわち、まず、図32に示されるように、排気温度 T_e は吸気管圧力 P_m の増大に対し、排気圧 P_e が増大するよりも大幅に増大し、その結果、 $P_e/\sqrt{T_e}$ を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができるるのである。

【0164】

また、関数 $\Phi(P_m/P_e)$ も吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができるのである。これを図33を参照して説明する。排気圧 P_e が一定の大気圧 P_a に維持されるのではなく、吸気管圧力 P_m に応じて変動することを考慮すると、図3

3 (A) に示されるように、吸気管圧力 P_m が P_{m1} のときの関数 $\Phi (P_m/P_e)$ は大気圧 P_a に収束する曲線 C_a 上にあるのではなく、排気圧 P_{e1} に収束する曲線 C_1 上にあり、これがプロット (○) で表されている。同様に、 $P_m = P_{m2} (> P_{m1})$ のときの $\Phi (P_m/P_e)$ は排気圧 $P_{e2} (> P_{e1})$ に収束する曲線 C_2 上にあり、 $P_m = P_{m3} (> P_{m2})$ のときの $\Phi (P_m/P_e)$ は排気圧 $P_{e3} (> P_{e2})$ に収束する曲線 C_3 上にある。

【0165】

このようにして得られるプロットは、図33 (B) に示されるように、直線 L_2 で結ぶことができる。したがって、関数 $\Phi (P_m/P_e)$ は吸気管圧力 P_m が小さいときには直線 L_1 に相当する吸気管圧力 P_m の一次関数式により、吸気管圧力 P_m が大きいときには直線 L_2 に相当する吸気管圧力 P_m の一次関数式により表すことができ、斯くて吸気管圧力 P_m の 2 つの一次関数式で表すことができるこことなる。すなわち、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を吸気管圧力 P_m の 2 つの一次関数式で表すことができるのである。

【0166】

ここで、定常運転時には、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} (g/sec) と筒内流入 EGR ガス流量 m_{c-egr} (g/sec) とが互いに等しい。また、筒内充填 EGR ガス量 M_{c-egr} は、筒内流入 EGR ガス流量 m_{c-egr} に、各気筒の吸気行程 1 回に要する時間、すなわち、内燃機関の 1 サイクルにかかる時間を気筒数で割った時間 ΔT (sec) を乗算することにより得られるものである ($M_{c-egr} = m_{c-egr} \cdot \Delta T$)。

そうすると、定常運転時の筒内充填 EGR ガス量 M_{c-egr} を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができるということになる。

【0167】

したがって、定常運転時で且つ EGR ガスが供給されているときの筒内充填新気量 M_{c-air} 、または、機関負荷率 K_L を吸気管圧力 P_m の 2 つの一次関数式で表すことができるということになる。

【0168】

EGR ガスが供給されているときの機関負荷率 K_L を $K_{L on}$ とすると、図3

4には、定常運転時（例えば、機関回転数N EおよびE G R開度 θ_e がそれぞれ一定に保持されているとき）の機関負荷率K L o nを表す吸気管圧力P mの2つの一次関数式の一例が示されている。図3 4に示されるように、機関負荷率K L o nは、勾配が互いに異なり且つ接続点C Pにおいて連続している、吸気管圧力P mの2つの一次関数式により表される。すなわち、吸気管圧力P mが小さいときには勾配e 1の一次関数式によって、機関負荷率K L o nが表され、吸気管圧力P mが高いときには勾配e 2の一次関数式によって、機関負荷率K L o nが表される。

【0169】

ここで、2つの一次関数式の勾配をそれぞれe 1, e 2とし、接続点C Pにおける吸気管圧力および機関負荷率をそれぞれd, rとすると、これら2つの一次関数式は次式により表すことができる。

$$K L o n = e 1 \cdot (P_m - d) + r \quad \cdots P_m \leq d$$

$$K L o n = e 2 \cdot (P_m - d) + r \quad \cdots P_m > d$$

これらをひとまとめにして表すと次式(4 3)のようになる。

$$K L o n = e \cdot (P_m - d) + r \quad (4 3)$$

$$e = e 1 \quad \cdots P_m \leq d$$

$$e = e 2 \quad \cdots P_m > d$$

【0170】

本実施形態では、定常運転時の機関負荷率K L o nを表す吸気管圧力P mの2つの一次関数式が式(4 3)に示す形で予めROM3 4内に記憶されている。このようにすると、2つの一次関数式をe, d, rの3つのパラメータで表すことができる。すなわち、2つの一次関数式を表すために必要なパラメータの数を少なくすることができる。

この式(4 3)の各パラメータe, d, rは次式に基づいて算出される。

$$e 1 = e 1^* \cdot k t h a$$

$$e 2 = e 2^* \cdot k t h a$$

$$d = d^* \cdot k t h a \cdot k p a$$

$$r = r^* \cdot k t h a \cdot k p a$$

ここで、 e_1^* , e_2^* , d^* , r^* はそれぞれ、機関周囲環境状態が予め定められた基準環境状態であるときの、勾配ならびに接続点における吸気管圧力および機関負荷率である。基準環境状態にはどのような状態を用いてもよいが、本実施形態では基準環境状態として標準状態（1気圧、25°C）が用いられている。

【0171】

一方、 $k_{th}a$ は大気温度補正係数を、 k_pa は大気圧補正係数をそれぞれ表している。大気温度補正係数 $k_{th}a$ は大気温センサ44により検出される実際の大気温度に応じ、基準環境状態における各パラメータ e_1^* , e_2^* , d^* , r^* をそれぞれ補正するためのものであり、補正する必要がないときには1.0とされる。また、大気圧補正係数 k_pa は大気圧センサ45により検出される実際の大気圧に応じ、基準環境状態における各パラメータ d^* , r^* をそれぞれ補正するためのものであり、補正する必要がないときには1.0とされる。

【0172】

したがって、大気温度補正係数 $k_{th}a$ または大気圧補正係数 k_pa が実際の機関周囲環境状態を代表する代表値であるということを考えると、実際の機関周囲環境状態を代表する代表値に基づき、基準環境状態における各パラメータ e_1^* , e_2^* , d^* , r^* を補正しているということになる。あるいは、実際の機関周囲環境状態を代表する代表値に基づき、基準環境状態における機関負荷率 K_{L_o} を補正しているという見方もできる。

【0173】

一方、式(17)におけるEGR制御弁22の開口断面積 A_e がEGR開度 θ_e に依存し、機関充填効率が機関回転数NEに依存することを考慮して、本実施形態では、パラメータ e^* (e_1^* , e_2^*), d^* , r^* をEGR開度 θ_e または機関回転数NEに応じて設定している。

【0174】

具体的に説明すると、勾配 e_1^* は、図35(A)に示されるように、機関回転数NEが低いときには機関回転数NEが高くなるにつれて大きくなり、機関回転数NEが高いときには機関回転数NEが高くなるにつれて小さくなり、さらに、EGR開度 θ_e が大きくなるにつれて大きくなる。また、勾配 e_2^* は、図35

(B) に示されるように、機関回転数N E が低いときには機関回転数N E が高くなるにつれて大きくなり、機関回転数N E が高いときには機関回転数N E が高くなるにつれて小さくなり、さらに、E G R 開度 θ_e が大きくなるにつれて大きくなる。これら勾配 e_1^* , e_2^* は予め実験により求められており、それぞれ機関回転数N E およびE G R 開度 θ_e の関数として図35 (C) および (D) に示されるマップの形で予めROM34内に記憶されている。

【0175】

一方、接続点C P における吸気管圧力 d^* は、図36に示されるように、機関回転数N E が高くなるにつれて小さくなる。接続点C P における吸気管圧力 d^* も予め実験により求められており、機関回転数N E の関数として図36に示されるマップの形で予めROM34内に記憶されている。

【0176】

さらに、接続点C P における機関負荷率 r^* は、図37 (A) に示されるように、機関回転数N E が低いときには機関回転数N E が高くなるにつれて大きくなり、機関回転数N E が高いときには機関回転数N E が高くなるにつれて小さくなり、さらに、E G R 開度 θ_e が大きくなるにつれて小さくなる。接続点C P における機関負荷率 r^* も予め実験により求められており、機関回転数N E およびE G R 開度 θ_e の関数として図37 (B) に示されるマップの形で予めROM34内に記憶されている。

【0177】

したがって、一般的に言うと、互いに異なる複数のE G R 開度 θ_e に対し、定常運転時における筒内充填新気量 M_{c-air} 、または、機関負荷率 $K_{L_o n}$ を表す吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式がそれぞれ予め求められて記憶されているということになる。また、互いに異なる複数の機関回転数N E に対し、定常運転時における筒内充填新気量 M_{c-air} 、または、機関負荷率 $K_{L_o n}$ を表す吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式が予め求められて記憶されているということにもなる。

【0178】

図38は一定の機関回転数N E で且つ様々なE G R 開度 θ_e における、定常運

転時の機関負荷率 $K_{L_o n}$ を表す吸気管圧力 P_m の 2 つの一次関数式の一例を示している。なお、図 38 における破線は EGR ガスが供給されていないとき、すなわち、EGR 開度 θ_e がゼロのときの機関負荷率 $K_{L_o f_f}$ を示している。

【0179】

一方、上述したように、EGR ガスが供給されていないときの機関負荷率 $K_{L_o f_f}$ を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表すことができる。図 39 には、定常運転時機（例えば、回転数 N_E が一定に保持されているとき）の機関負荷率 $K_{L_o f_f}$ を表す吸気管圧力 P_m の 2 つの一次関数式の一例が示されている。本実施形態では、図 39 に示されるように、機関負荷率 $K_{L_o f_f}$ は、勾配が互いに異なり且つ接続点 CP において連続している、吸気管圧力 P_m の 2 つの一次関数式により表される。すなわち、吸気管圧力 P_m が小さいときには勾配 a_1 の一次関数式によって機関負荷率 $K_{L_o f_f}$ が表され、吸気管圧力 P_m が高いときには勾配 a_2 の一次関数式によって機関負荷率 $K_{L_o f_f}$ が表される。

【0180】

ここで、2 つの一次関数式の勾配をそれぞれ a_1 , a_2 とし、接続点 CP における吸気管圧力および機関負荷率をそれぞれ d , c とすると、これら 2 つの一次関数式は次式により表すことができる。

$$K_{L_o f_f} = a_1 \cdot (P_m - d) + c \quad \cdots P_m \leq d$$

$$K_{L_o f_f} = a_2 \cdot (P_m - d) + c \quad \cdots P_m > d$$

これらをひとまとめにして表すと次式 (44) のようになる。

$$K_{L_o f_f} = a \cdot (P_m - d) + c \quad (44)$$

$$a = a_1 \quad \cdots P_m \leq d$$

$$a = a_2 \quad \cdots P_m > d$$

【0181】

本実施形態では、定常運転時の機関負荷率 $K_{L_o f_f}$ を表す吸気管圧力 P_m の 2 つの一次関数式が式 (44) に示す形で予め ROM34 内に記憶されている。なお、この場合の接続点 CP における吸気管圧力 d は、上述した機関負荷率 $K_{L_o n}$ についての接続点 CP における吸気管圧力 d と同一である。したがって、パラメータの数をさらに少なくすることができる。もちろん、これら接続点 CP に

おける吸気管圧力を互いに異ならせることもできる。

この式(44)の各パラメータ a , r は次式に基づいて算出される。

$$a_1 = a_1^* \cdot k_{t h a}$$

$$a_2 = a_2^* \cdot k_{t h a}$$

$$c = c^* \cdot k_{t h a} \cdot k_{p a}$$

ここで、 a_1^* , a_2^* , r^* はそれぞれ、機関周囲環境状態が上述した基準環境状態すなわち標準状態であるときの、勾配および接続点における機関負荷率である。

【0182】

したがって、大気温度補正係数 $k_{t h a}$ または大気圧補正係数 $k_{p a}$ が実際の機関周囲環境状態を代表する代表値であるということを考えると、実際の機関周囲環境状態を代表する代表値に基づき、基準環境状態における各パラメータ a_1^* , a_2^* , c^* を補正しているということになる。あるいは、実際の機関周囲環境状態を代表する代表値に基づき、基準環境状態における機関負荷率 $K_{L o f f}$ を補正しているという見方もできる。

【0183】

一方、機関充填効率が機関回転数 N_E に依存することを考慮して、本実施形態では、パラメータ a^* (a_1^* , a_2^*), c^* を機関回転数 N_E に応じて設定している。

【0184】

具体的に説明すると、勾配 a_1^* は、図40(A)に示されるように、機関回転数 N_E が低いときには機関回転数 N_E が高くなるにつれて大きくなり、機関回転数 N_E が高いときには機関回転数 N_E が高くなるにつれて小さくなる。また、勾配 a_2^* は、図40(B)に示されるように、機関回転数 N_E が低いときには機関回転数 N_E が高くなるにつれて大きくなり、機関回転数 N_E が高いときには機関回転数 N_E が高くなるにつれて小さくなる。これら勾配 a_1^* , a_2^* は予め実験により求められており、それぞれ機関回転数 N_E の関数として図40(A)および(B)に示されるマップの形で予め ROM34 内に記憶されている。

【0185】

さらに、接続点CPにおける機関負荷率 c^* は、図41に示されるように、機関回転数NEが低いときには機関回転数NEが高くなるにつれて大きくなり、機関回転数NEが高いときには機関回転数NEが高くなるにつれて小さくなる。接続点CPにおける機関負荷率 c^* も予め実験により求められており、機関回転数NEの関数として図41に示されるマップの形で予めROM34内に記憶されている。

【0186】

したがって、一般的に言うと、互いに異なる複数の機関回転数NEに対し、定常運転時における筒内充填新気量 M_{c-air} 、または、機関負荷率 KL_{on} を表す吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式が予め求められて記憶されているということになる。

そうすると、吸気管圧力 P_m を例えば圧力センサ39により検出すれば、この検出された吸気管圧力 P_m から上述の式(43)または(44)を用いて機関負荷率 KL_{on} または KL_{off} を正確に且つ簡単に求めることができ、斯くして空燃比を目標空燃比に正確に且つ簡単に一致させることができることになる。

【0187】

このように機関負荷率 KL_{on} , KL_{off} を吸気管圧力 P_m の一次関数式で表せるということは、機関負荷率 KL_{on} , KL_{off} と吸気管圧力 P_m との関係を表すマップを作成する必要がないことを意味しており、したがってまずマップの作成労力がなくされる。また、複雑な例えれば微分方程式などを解く必要がないということも意味しており、したがってCPU34の計算負荷が軽減されることにもなる。

【0188】

ところで、式(25)を参照すれば分かるように、機関負荷率 KL は、筒内充填新気量 M_{c-air} を表しているとも言える。ここで、EGRガスが供給されていないときには、筒内に新気のみが充填されることを考えると、EGRガスが供給されていないときの機関負荷率 KL_{off} は、このとき筒内に充填されるガスの総量、すなわち、筒内充填ガス量 M_c を表していると考えることができる。

【0189】

ここで、EGRガスが供給されているときと供給されていないときとで筒内充填ガス量 M_C が変わらないと考えると、EGRガスが供給されていないときの機関負荷率 K_{Loff} は、EGRガスが供給されているときの筒内充填ガス量 M_C だけでなく、EGRガスが供給されているときの筒内充填ガス量 M_C をも表しているということになる。

【0190】

一方、定常運転時で且つEGRガスが供給されているときの筒内充填新気量 M_{c-air} が機関負荷率 K_{Lon} によって表されることは上述したとおりである。

したがって、EGRガスが供給されていないときの機関負荷率 K_L から、EGRガスが供給されているときの機関負荷率 K_{Lon} を差し引いた結果 ΔK_L ($= K_{Loff} - K_{Lon}$) は、定常運転時における筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} を表しているということになる。

【0191】

具体的に説明すると、例えば、図42に示されるように、 $P_m = P_{m1}$ のときに $K_{Loff} = K_{Loff1}$ であって且つ $K_{Lon} = K_{Lon1}$ である場合には、定常運転時における筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} は ΔK_L ($= K_{Loff1} - K_{Lon1}$) で表される。

【0192】

したがって、定常運転時における筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} は次式(45)に基づいて算出できることになる。

$$M_{c-egr} = k_{egr1} \cdot \Delta K_L \quad (45)$$

ここで、 k_{egr1} は機関負荷率 K_L から筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} への変換係数を、 K_{Loff} , K_{Lon} は、それぞれ、上記式(43), (44)からそれぞれ算出される機関負荷率を表している。

【0193】

したがって、吸気管圧力 P_m を上述した計算式によって算出し、あるいは、圧力センサによって検出すれば、この吸気管圧力 P_m から上述の式(45)を用いて定常運転時における筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} を正確に且つ簡単に求めることができることになる。

【0194】

ところで、上述したように、定常運転時には EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} と筒内吸入 EGR ガス量 m_{c-egr} とが互いに等しく、筒内充填 EGR ガス量 M_{c-e}
 gr は筒内吸入 EGR ガス量 m_{c-egr} と ΔT (sec) の積で表される ($M_{c-egr} = m_{c-egr} \cdot \Delta T$)。

したがって、上述した差 ΔKL は定常運転時における EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} も表しているということになる。

【0195】

本実施形態では、次式 (46) に基づいて定常運転時における EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} が算出される。

$$m_{egr} = k_{egr} 2 \cdot \Delta KL \quad (46)$$

ここで、 $k_{egr} 2$ は機関負荷率 KL から EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} への変換係数を表し、 KL_{off} , KL_{on} は、それぞれ、上記式 (43), (44)
) からそれぞれ算出される機関負荷率を表している。

【0196】

これまで説明してきたように、上述の式 (46) を用いて定常運転時における EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} が算出される。しかしながら、この式 (46) を用いて過渡運転時における EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} を算出することもできる。

すなわち、EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} は EGR 制御弁 2 2 前後の圧力差、すなわち、排気圧 P_e と吸気管圧力 P_m との差に大きく依存し、過渡運転時における EGR 制御弁 2 2 上流の排気圧 P_e および排気温度 T_e が定常運転時における排気圧 P_e および排気温度 T_e とそれほど変わらないと考えれば、定常運転時であろうと過渡運転時であろうと、吸気管圧力 P_m が決まれば EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} が決まるのである。

【0197】

したがって、上述の式 (46) を用いて吸気管圧力 P_m から定常運転時および過渡運転時における EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} を正確に且つ簡単に求めることがきることになる。この場合、定常運転時における筒内充填 EGR ガス量

M_{C-egr} は定常運転時における EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} から算出することもできるし、上述の式(45)を用いて差 ΔKL から算出することもできる。

【0198】

図43は上述した本実施形態におけるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} の算出ルーチンを示している。このルーチンは予め定められた設定時間毎の割り込みによって実行される。

【0199】

図43を参照すると、まずステップ100では吸気管圧力 P_m 、機関回転数 N_E 、およびEGR開度 θ_e が読み込まれる。続くステップ101では、大気温度補正係数 k_{tha} および大気圧補正係数 k_{pa} が算出される。続くステップ102では、図36、図37(B)、および図41のマップから、基準環境状態のもとの接続点CPにおける吸気管圧力 d^* および機関負荷率 c^* , r^* が算出される。続くステップ103では、 k_{tha} , k_{pa} により d^* , c^* , r^* を補正することにより、パラメータ d , c , r が算出される。続くステップ104では、検出された吸気管圧力 P_m が接続点における吸気管圧力 d 以下か否かが判別される。 $P_m \leq d$ のときには次いでステップ105に進み、図35(C)および図40(A)のマップから $a1^*$, $e1^*$ が算出される。続くステップ106では、勾配 a^* , e^* がそれぞれ $a1^*$, $e1^*$ とされる。次いでステップ109に進む。これに対し、 $P_m > d$ のときには次いでステップ107に進み、図35(D)および図40(B)のマップから $a2^*$, $e2^*$ が算出される。続くステップ108では、勾配 a^* , e^* がそれぞれ $a2^*$, $e2^*$ とされる。次いでステップ109に進む。

【0200】

ステップ109では、 k_{tha} , k_{pa} により a^* , e^* を補正することにより、パラメータ a , e が算出される。続くステップ110では、式(44)に基づいて機関負荷率 KL_{off} が算出される ($KL_{off} = a \cdot (P_m - d) + c$)。続くステップ111では、式(43)に基づいて機関負荷率 KL_{on} が算出される ($KL_{on} = e \cdot (P_m - d) + r$)。続くステップ112では差 ΔKL が算出される ($\Delta KL = KL_{off} - KL_{on}$)。続くステップ113では、式(

45)に基づいてEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} が算出される ($m_{egr} = k_{egr} \cdot \Delta KL$)。

【0201】

上述の実施形態では、機関負荷率 KL_{off} , KL_{on} を、それぞれ、2つの一次関数式により表している。しかしながら、機関負荷率 KL_{off} , KL_{on} を、それぞれ、n個のm次関数式により表すこともできる (n, m=1, 2…)

。

【0202】

したがって、上述の実施形態では、定常運転時で且つEGRガスが供給されていないときの筒内充填新気量または機関負荷率 KL_{off} を吸気管圧力 P_m の関数式である第1の関数式により表すと共に第1の関数式を予め求めて記憶しておき、定常運転時で且つEGRガスが供給されているときの筒内充填新気量または機関負荷率 KL_{on} を吸気管圧力 P_m の関数式である第2の関数式により表すと共に第2の関数式を予め求めて記憶しておき、前記求められた吸気管圧力 P_m から前記第1および第2の関数式を用いてそれぞれ筒内充填新気量または機関負荷率 KL_{off} , KL_{on} を算出し、これら算出された筒内充填新気量または機関負荷率 KL_{off} , KL_{on} の差 ΔKL を算出し、EGR制御弁通過ガス量 m_{egr} を差 ΔKL に基づいて算出しているということになる。

【0203】

さらに一般的に言うと、定常運転時で且つEGRガスが供給されていないときの筒内充填新気量または機関負荷率 KL_{off} と、定常運転時で且つEGRガスが供給されているときの筒内充填新気量または機関負荷率 KL_{on} との差 ΔKL を吸気管圧力 P_m の関数式により表すと共に、関数式を予め求めて記憶しておき、吸気管圧力 P_m を求め、求められた吸気管圧力 P_m から前記関数式を用いて前記差 ΔKL を算出し、定常運転時および過渡運転時におけるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} ならびに定常運転時における筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} を、この差 ΔKL に基づいて算出しているということになる。

【0204】

次に、本発明の別の実施形態を説明する。

上述した差 ΔK_L は K_{Loff} および K_{Lon} をそれぞれ表す式(44), (43)を用いて次式(47)のように表すことができる。

$$\begin{aligned}\Delta K_L &= K_{Loff} - K_{Lon} \\ &= (a - e) \cdot (P_m - d) + (c - r)\end{aligned}\quad (47)$$

ここで、 $(a - e) = h$, $(c - r) = i$ と置き換えると、式(47)は次のようになる。

$$\begin{aligned}\Delta K_L &= h \cdot (P_m - d) + i \quad (48) \\ h &= h_1 \quad \cdots P_m \leq d \\ h &= h_2 \quad \cdots P_m > d\end{aligned}$$

【0205】

したがって、差 ΔK_L は、図44に示されるように、勾配が互いに異なり且つ接続点CPにおいて連続している、吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式により表されることになる。すなわち、吸気管圧力 P_m が小さいときには勾配 h_1 の一次関数式により、吸気管圧力 P_m が高いときには勾配 h_2 の一次関数式により、差 ΔK_L が表される。

【0206】

本実施形態では、差 ΔK_L を表す吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式が式(48)に示す形で予めROM34内に記憶されている。このようにすると、パラメータの数をさらに少なくすることができる。

この式(48)の各パラメータ h , d , i は次式に基づいて算出される。

$$\begin{aligned}h_1 &= h_1^* \cdot k_{tha} \\ h_2 &= h_2^* \cdot k_{tha} \\ i &= i^* \cdot k_{tha} \cdot k_{pa}\end{aligned}$$

ここで、 h_1^* , h_2^* , i^* はそれぞれ、機関周囲環境状態が基準環境状態であるときの、勾配および接続点CPにおける差である。これら h_1^* , h_2^* , i^* は予め実験により求められており、それぞれ機関回転数NEおよびEGR開度 θ_e の関数として図45(A), (B), (C)に示されるマップの形で予めROM34内に記憶されている。なお、パラメータ d は上述の実施形態と同様であるので説明を省略する。

【0207】

したがって、一般的に言うと、互いに異なる複数のEGR開度 θ_e に対し、差 ΔKL を表す吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式がそれぞれ予め求められて記憶されているということになる。また、互いに異なる複数の機関回転数 N_E に対し、差 ΔKL を表す吸気管圧力 P_m の2つの一次関数式が予め求められて記憶されているということにもなる。

【0208】

図46は上述した本発明の別の実施形態におけるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} の算出ルーチンを示している。このルーチンは予め定められた設定時間毎の割り込みによって実行される。

【0209】

図46を参照すると、まずステップ120では吸気管圧力 P_m 、機関回転数 N_E 、およびEGR開度 θ_e が読み込まれる。続くステップ121では、大気温度補正係数 k_{tha} および大気圧補正係数 k_{pa} が算出される。続くステップ122では、図36および図45(C)のマップから、基準環境状態のもとでの接続点CPにおける吸気管圧力 d^* および差 i^* が算出される。続くステップ123では、 k_{tha} , k_{pa} により d^* , i^* を補正することにより、パラメータ d , i が算出される。続くステップ124では、検出された吸気管圧力 P_m が接続点における吸気管圧力 d 以下か否かが判別される。 $P_m \leq d$ のときには次いでステップ125に進み、図45(A)のマップから $h1^*$ が算出される。続くステップ126では、勾配 h^* が $h1^*$ とされる。次いでステップ129に進む。これに対し、 $P_m > d$ のときには次いでステップ127に進み、図45(B)のマップから $h2^*$ が算出される。続くステップ128では、勾配 h^* が $h2^*$ とされる。次いでステップ129に進む。

【0210】

ステップ129では、 k_{tha} , k_{pa} により h^* を補正することにより、パラメータ h が算出される。続くステップ130では、式(48)に基づいて差 ΔKL が算出される($\Delta KL = h \cdot (P_m - d) + i$)。続くステップ131では、式(46)に基づいてEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} が算出される($m_{egr} =$

$k_{egr} \cdot \Delta KL$)。

ここで、EGR開度 θ_e について簡単に説明する。上述したように、EGR開度はEGR制御弁22のステップモータのステップ数S TPで表され、すなわち、ステップ数S TPがゼロになるとEGR制御弁22は閉弁し、ステップ数S TPが大きくなるとEGR開度も大きくなる。

【0211】

ところが、実際には、図47に示されるようにステップ数S TPがゼロから大きくなっても、EGR制御弁22は直ちに開弁せず、ステップ数S TPがS TP1を越えるとようやくEGR制御弁22が開弁する。このため、ステップ数S TPからS TP1だけ減算した結果(S TP - S TP1)でもって、EGR開度 θ_e を表す必要がある。

また、EGR制御弁22には通常、製造誤差が含まれているので、ステップ数S TPに対する実際のEGR開度 θ_e が正規の開度からずれている恐れがある。そこで、図1に示される内燃機関では、実際のEGR開度を正規の開度に一致させるための補正係数 k_g を求め、この補正係数 k_g をステップ数S TPに加算するようにしている。

【0212】

したがって、EGR開度 θ_e は次式に基づいて表されることになる。

$$\theta_e = S TP - S TP_0 + k_g$$

ここで、S TP0は図面公差中央品においてEGR制御弁22が開弁し始めるステップ数である。本実施形態では、このようにして算出されるEGR開度 θ_e をマップの引数として用いている。

【0213】

ところで、上述のように算出されるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} または定常運転時における筒内充填EGRガス量 M_{c-egr} を、排気温度 T_e を考慮してさらに補正することもできる。

【0214】

EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を補正する場合について説明すると、この場合のEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} は例えば次式で表される。

$$m_{egr} = m_{egr} \cdot k_{wu} \cdot k_{rtd} \cdot k_{inc}$$

ここで、 k_{wu} は暖機時補正係数を、 k_{rtd} は遅角時補正係数を、 k_{inc} は增量時補正係数を、それぞれ表している。

【0215】

暖機時補正係数 k_{wu} は機関暖機運転時におけるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を補正するためのものである。すなわち、暖機運転時には暖機運転完了後に比べて排気温度 T_e が低くなっている、その分だけEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} (g/sec)が多くなる。上記式(43), (44)または式(48)を用いて算出されるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} は暖機運転完了後におけるEGR制御弁通過ガス流量であるので、これを補正する必要があるのである。

【0216】

暖機時補正係数 k_{wu} は、図48(A)に示されるように、暖機の程度を表す機関冷却水温 THW が高くなるにつれて小さくなり、暖機完了を表す温度 TWU 以上になると1.0に保持される。この暖機時補正係数 k_{wu} は図48(A)に示されるマップの形で予めROM34内に記憶されている。

一方、遅角時補正係数 k_{rtd} は点火時期の遅角補正時におけるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を補正するためのものである。すなわち、遅角補正時には遅角補正が行われないときに比べて排気温度 T_e が高くなっている、その分だけEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} が少なくなる。

【0217】

遅角時補正係数 k_{rtd} は、図48(B)に示されるように、遅角量 RTD がゼロのときに1.0であり、遅角量 RTD が大きくなるにつれて小さくなる。この遅角時補正係数 k_{rtd} は図48(B)に示されるマップの形で予めROM34内に記憶されている。

【0218】

さらに、增量時補正係数 k_{inc} は燃料噴射量の增量補正時におけるEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} を補正するためのものである。すなわち、增量補正時には增量補正が行われないときに比べて排気温度 T_e が低くなっている、その分だけEGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} が多くなる。

増量時補正係数 k_{inc} は、図48（C）に示されるように、増量補正分 F_{inc} がゼロのときに 1.0 であり、増量補正分 F_{inc} が大きくなるにつれて大きくなる。この増量時補正係数 k_{inc} は図48（C）に示されるマップの形で予め ROM34 内に記憶されている。

このようにすると、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} をさらに高精度で求めることができる。

【0219】

なお、点火時期遅角補正または燃料増量補正が行われないときの排気温度 T_e を機関運転状態（例えば、機関回転数 N_E および要求負荷 L ）の関数として予め求めておき、実際の排気温度 T_e を検出または推定し、遅角補正または燃料増量補正が行われないときの排気温度 T_e と実際の排気温度 T_e との差に基づいて EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} を補正するようにしてもよい。定常運転時における筒内充填 EGR ガス量 M_{c-egr} も同様であるので、説明を省略する。

【0220】

図1に示される内燃機関では上述したように、EGR制御弁22下流のEGR通路21が分岐されて各気筒の吸気枝管12にそれぞれ接続されている。この構成において、各気筒に供給されるEGRガスの量にばらつきが生ずるのを抑制するため、図49に示されるように、EGR制御弁22下流の各EGR通路21内に絞り23を設けることができる。

【0221】

この場合、まず、定常運転時であれば、絞り23を通過するEGRガスの流量である絞り通過ガス流量 $m_{ch k}$ (g/sec) は EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} に一致する。したがって、これまでの説明からわかるように、定常運転時における絞り通過ガス流量 $m_{ch k}$ を差 ΔK_L に基づいて算出することができるということになる。なお、絞り通過ガス流量 $m_{ch k}$ は吸気管部分に流入する EGR ガスの流量を表している。

【0222】

一方、過渡運転時には、絞り通過ガス流量 $m_{ch k}$ は EGR 制御弁通過ガス流量 m_{egr} に必ずしも一致しない。しかしながら、EGR制御弁22から絞り23

までのEGR通路21内の容積が比較的小さい場合には、 m_{ch} は m_{egr} に概ね一致する。したがって、EGR制御弁22から絞り23までのEGR通路21内の容積が比較的小さい場合には、定常運転時であろうと過渡運転時であろうと、絞り通過ガス流量 m_{ch} を差 ΔKL に基づいて算出できるということになる。

【0223】

これまで述べてきた本実施形態では、例えば、計算モデルを用いて推定された吸気管圧力 P_m 、あるいは、圧力センサ39により検出された吸気管圧力 P_m から機関負荷率 KL_{on} 、 KL_{off} または差 ΔKL を算出するようにしている。しかしながら、例えば、スロットル開度、またはスロットル弁17上流の吸気ダクト14内に配置されたエアフローメータの出力に基づき吸気管圧力 P_m を推定し、この推定された吸気管圧力 P_m から機関負荷率 KL を算出することもできる。

ここで、スロットル開度に基づいて吸気管圧力 P_m を推定する場合には、吸気管圧力 P_m を、スロットル開度 θ_t と、機関回転数NEと、EGR開度 θ_e との関数として予め求められ、これがマップの形で記憶される。

【0224】

一方、エアフローメータの出力に基づいて吸気管圧力 P_m を推定する場合、エアフローメータの検出精度などのために、推定された吸気管圧力 P_m が、吸気管圧力 P_m がとりうる最高圧 P_{mmax} を越える恐れがある。ところが、 $P_m > P_{mmax}$ の領域では、図50（B）に示されるように、上述の式（43）で表される機関負荷率 KL_{on} が式（44）で表される機関負荷率 KL_{off} よりも大きくなっている場合があり、この場合には、差 ΔKL が負値になる。すなわち、推定された吸気管圧力 P_m が最高圧 P_{mmax} を越えると、差 ΔKL を正確に算出できなくなる恐れがある。

【0225】

そこで、図50（A）に示されるように、 $P_m > P_{mmax}$ の領域では、差 ΔKL を一定値 ΔKL_C に保持すれば、このような不具合をなくすことができる。すなわち、推定された吸気管圧力 P_m が最高圧 P_{mmax} を越えたときに、差 ΔKL を正確に算出し続けることができるのである。

【0226】

ところで、図51に示されているように、各気筒5に対応する吸気枝管13内に、隔壁24によって互いに分離された一対の吸気通路13a, 13bが設けられ、一方の吸気通路13b内にスワール制御弁25が配置されている内燃機関が知られている。

【0227】

このスワール制御弁25は、例えば、機関低負荷運転時に閉弁され、機関高負荷運転時に開弁される。図51（A）に示したように、スワール制御弁25が開弁されると、両吸気通路13a, 13bからガスが気筒5内に流入し、したがって、気筒5内に十分な量の新気が供給される。一方、図51（B）に示したように、スワール制御弁25が閉弁されると、一方の吸気通路13aからのみガスが気筒5内に流入し、斯くして、気筒5内にシリンダ軸線周りの旋回流が形成される。

【0228】

ここで、スワール制御弁25が閉弁されると、上述したように、ガスは一方の吸気通路13aのみから気筒5内に流入するようになるので、EGR制御弁22から気筒5までの流路の容積は、スワール制御弁25が開弁されている場合に比べて、小さくなる。

また、スワール制御弁25が閉弁されると、EGR通路21の出口近傍におけるガスの流速が速くなる。特に、図51に示されているように、EGR通路21が隔壁24によって分離された領域において吸気通路13aに接続されている場合には、スワール制御弁25が閉弁されたときのEGR通路21の出口近傍におけるガス流速の上昇は大きい。

【0229】

このように、スワール制御弁25が閉弁されると、スワール制御弁25が開弁されている場合に比べて、EGR制御弁22から気筒5までの流路の容積は小さくなり、且つ、EGR通路21の出口近傍のガスの流速が速くなるので、排気ガスがEGR制御弁22を通過してから気筒5に到達するのにかかる時間は短くなり、且つ、EGR制御弁22下流のEGR通路21内および吸気通路13a内に

おける排気ガスの拡散が促進される。

すなわち、このことは、スワール制御弁25が閉弁されると、スワール制御弁25が開弁されている場合に比べて、上述の無駄時間Td2が短くなり、且つ、上述の時定数τ2が小さくなる。

【0230】

そこで、内燃機関がスワール制御弁25を備えている場合においては、上述の実施形態において、スワール制御弁25が開弁された状態を基準にして、機関回転数NEを変数とした無駄時間Td2および時定数τ2のマップを予め実験等で求めてROM34に記憶しておき、スワール制御弁25が開弁されているときは、このマップから機関回転数NEに基づいて求まる無駄時間Td2および時定数τ2を用いて、筒内流入排気ガス流量megr-egrを算出する。

【0231】

ここでの無駄時間Td2および時定数τ2のマップは、それぞれ、図17（a）および（B）のような形になる。

一方、スワール制御弁25が閉弁されたときには、図17（A）および（B）に示したマップから機関回転数NEに基づいて無駄時間Td2および時定数τ2を求め、これら無駄時間Td2および時定数τ2に1.0よりも小さい補正係数を乗じて算出した無駄時間Td2および時定数τ2を用いて、筒内流入排気ガス流量megr-egrを算出する。

これによれば、内燃機関がスワール制御弁を備えている場合にも、より正確に筒内流入排気ガス流量を算出することができる。

【0232】

なお、この技術思想は、より一般的に言うと、機関運転状態に応じてEGR制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口するEGR通路の出口近傍のガス流速が変更せしめられるようになっている内燃機関にも、等しく適用可能である。

【0233】

ところで、図51に示したようにスワール制御弁を備えた内燃機関において、

スワール制御弁が閉弁されると、上述したように、スワール制御弁が開弁されている場合に比べて、EGR制御弁から気筒までの流路の容積が小さくなり、且つ、EGR通路の出口近傍のガスの流速が速くなるので、筒内に充填されるEGRガス量は多くなる。

すなわち、スワール制御弁が閉弁されると、筒内に充填されるEGRガス量が多くなるので、逆に、筒内に充填される新気の量が少なくなり、したがって、機関負荷率が小さくなる。

【0234】

したがって、内燃機関がスワール制御弁を備えている場合において、上述の式(43)を利用してEGRガスが気筒内に供給されている時の機関負荷率 $K_{L_o n}$ を算出するときには、スワール制御弁が開弁しているか閉弁しているかによって、筒内に充填されるEGRガスの量が異なることを考慮するのが好ましい。

【0235】

そこで、内燃機関がスワール制御弁25を備えている場合においては、上述の実施形態において、スワール制御弁25が開弁された状態を基準として、式(43)で用いられるパラメータ e (e_1^* , e_2^*), d^* , r^* を設定するためのマップを実験等で求めてROM34に記憶しておき、スワール制御弁25が開弁されているときには、これらマップから各パラメータ e (e_1^* , e_2^*), d^* , r^* を求め、これらパラメータに基づいて式(43)から機関負荷率 $K_{L_o n}$ を算出する。

【0236】

一方、スワール制御弁25が閉弁されたときには、上述のマップから各パラメータ e (e_1^* , e_2^*), d^* , r^* を求め、これらパラメータの少なくとも一方に1.0よりも大きい補正係数を乗じて算出したパラメータに基づいて式(43)から機関負荷率 $K_{L_o n}$ を算出する。

これによれば、内燃機関がスワール制御弁を備えている場合にも、より正確に機関負荷率 $K_{L_o n}$ を算出することができる。

なお、この技術思想は、より一般的に言うと、機関運転状態に応じてEGR制御弁から吸気弁までの通路容積が変更せしめられ、あるいは、機関運転状態に応

じて吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口するEGR通路の出口近傍のガス流速が変更せしめられるようになっている内燃機関にも、等しく適用可能である。

【0237】

また、筒内流入排気ガス流量を算出するのではなく、筒内流入新気流量を直接算出している場合には、スワール制御弁が閉弁されており且つ筒内流入排気ガス流量が多くなるときには、筒内流入新気流量が、スワール制御弁が開弁されている場合に比べて、早く少なくなるように補正するようにしてもよい。

また、上述の式(43)および(44)において、パラメータ d^* は、上述の実施形態では、式(43)および(44)において同じマップから求まる値としているが、式(43)にて用いられるパラメータ d^* と式(44)にて用いられるパラメータ d^* とを別のマップから求まる値としてもよい。

なお、流量に時間をかければ量が算出されることから、上述の実施形態において流量とは、実質的に、量をも意味するものである。

【0238】

また、本発明は、特に、EGR通路を介して吸気枝管に供給された排気ガスが、そこに溜まるようにEGR通路が吸気枝管（あるいは、吸気ポート）に接続されている内燃機関に適用されると、有利である。

【0239】

【発明の効果】

1および2番目の発明によれば、無駄時間と追従遅れとが考慮された形で、筒内流入排気ガス量が直接算出されるので、この筒内流入排気ガス量の算出精度は高い。

また、無駄時間と時定数とは機関回転数に依存するので、3番目の発明によれば、筒内流入排気ガス量の算出精度がより高い。

4番目の発明によれば、気筒毎の筒内流入排気ガス量にバラツキがある場合においても、各気筒に関して筒内流入排気ガス量の算出精度が高い。

5番目の発明によれば、気筒毎の無駄時間および追従遅れにバラツキがある場合においても、各気筒に関して筒内流入排気ガス量の算出精度が高い。

6番目の発明によれば、吸気弁の閉弁タイミングに依存して無駄時間および追従遅れにバラツキがある場合においても、筒内流入排気ガス量の算出精度が高い。

排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変わったり、吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガス流速が変わったりすると、無駄時間および追従遅れも変わるが、7番目の発明によれば、こうした要素が考慮されることから、筒内流入排気ガス量の算出精度が高い。

8番目の発明によれば、通過排気ガス流量を吸気通路内の圧力と該吸気通路内の圧力以外のパラメータとの関数でもって表された関係式を利用して通過排気ガス量を算出する場合において、排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積、または、吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガス流速に応じて、吸気通路内の圧力以外のパラメータを変更するので、上記関係式から算出される通過排気ガス量の算出精度が高い。

【0240】

9および10番目の発明によれば、無駄時間と追従遅れとが考慮された形で、吸気通路内流入排気ガス量が直接算出されるので、この吸気通路内流入排気ガス量の算出精度は高いと言える。

また、無駄時間と時定数とは機関回転数に依存するので、11番目の発明によれば、吸気通路内流入排気ガス量の算出精度がより高い。

12番目の発明によれば、気筒毎の吸気通路内流入排気ガス量にバラツキがある場合においても、各気筒に関して吸気通路内流入排気ガス量の算出精度が高い。

13番目の発明によれば、気筒毎の無駄時間および追従遅れにバラツキがある場合においても、各気筒に関して吸気通路内流入排気ガス量の算出精度が高い。

14番目の発明によれば、吸気弁の閉弁タイミングに依存して無駄時間および追従遅れにバラツキがある場合においても、吸気通路内流入排気ガス量の算出精度が高い。

【0241】

排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積が変わったり、吸気通路の流路断面積が変更せしめられることによって吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガス流速が変わったりすると、無駄時間および追従遅れも変わるが、16番目の発明によれば、こうした要素が考慮されることから、吸気通路内流入排気ガス量の算出精度が高い。

17番目の発明によれば、通過排気ガス流量を吸気通路内の圧力と該吸気通路内の圧力以外のパラメータとの関数でもって表された関係式を利用して通過排気ガス量を算出する場合において、排気ガス流量制御弁から吸気弁までの通路容積、または、吸気通路へ開口する排気ガス再循環通路の開口近傍のガス流速に応じて、吸気通路内の圧力以外のパラメータを変更するので、上記関係式から算出される通過排気ガス量の算出精度が高い。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の制御装置を備えた内燃機関全体を示す図である。

【図2】

EGR装置を備えていない内燃機関に適用可能な筒内流入ガス量モデルを示す図である。

【図3】

スロットル開度と流量係数との関係を示す図である。

【図4】

スロットル開度と開口断面積との関係を示す図である。

【図5】

関数Φ(P_m/P_a)を示す図である。

【図6】

スロットルモデルの基本概念を示す図である。

【図7】

EGR装置を備えていない内燃機関に適用可能な吸気管モデルの基本概念を示す図である。

【図8】

吸気弁モデルの基本概念を示す図である。

【図 9】

筒内充填ガス量および筒内流入ガス流量の定義に関する図である。

【図 10】

EGR装置を備えた内燃機関に適用可能な本発明の筒内流入ガス量モデルを示す図である。

【図 11】

EGR装置を備えた内燃機関に適用可能な吸気管モデルの基本概念を示す図である。

【図 12】

EGR制御弁通過ガス流量の算出における基本概念を示す図である。

【図 13】

機関負荷率と排気圧との関係を表した図である。

【図 14】

EGR制御弁通過ガス流量と排気温度との関係を表した図である。

【図 15】

EGR制御弁通過ガス流量が変化したときの流入排気ガス分流量の変化を示す図である。

【図 16】

流入排気ガス分流量に関する無駄時間 $T_d 1$ と時定数 τ_1 を示す図である。

【図 17】

筒内流入排気ガス流量に関する無駄時間 $T_d 2$ と時定数 τ_2 を示す図である

。

【図 18】

筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を算出するためのルーチンを示すフローチャートである。

【図 19】

無駄時間 T_d と時定数 τ を示す図である。

【図 20】

流入排気ガス分流量に関する無駄時間 T_{d1} となまし数 N_1 を示す図である。

【図 2 1】

筒内流入排気ガス流量に関する無駄時間 T_{d2} となまし数 N_2 を示す図である。

【図 2 2】

筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を算出するためのルーチンを示すフローチャートである。

【図 2 3】

気筒毎の分配係数を考慮して筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を算出するためのルーチンを示すフローチャートである。

【図 2 4】

気筒毎の分配係数ならびに無駄時間および時定数を考慮して筒内流入排気ガス流量 $m_{egr-egr}$ を算出するためのルーチンを示すフローチャートである。

【図 2 5】

吸気弁閉弁タイミング C_A と無駄時間 T_{d2} および時定数 τ_2 との関係を示す図である。

【図 2 6】

吸気弁閉弁タイミング C_A と無駄時間 T_{d2} に関する補正係数 K_{t_d} および時定数 τ_2 に関する補正係数 K_τ の関係を示す図である。

【図 2 7】

吸気弁閉弁タイミング C_A と無駄時間 T_{d2} および時定数 τ_2 との関係を示す図である。

【図 2 8】

吸気弁閉弁タイミング C_A と無駄時間 T_{d2} に関する補正係数 K_{t_d} および時定数 τ_2 に関する補正係数 K_τ の関係を示す図である。

【図 2 9】

吸気弁閉弁タイミング C_A と無駄時間 T_{d2} および時定数 τ_2 との関係を示す図である。

【図30】

吸気弁閉弁タイミングCAと無駄時間Td2に関する補正係数Ktdおよび時定数τ2に関する補正係数Kτとの関係を示す図である。

【図31】

EGR制御弁通過ガス量megrを説明するための図である。

【図32】

排気圧Pe、排気温度Te、およびPe/√Teを示す線図である。

【図33】

関数Φ(Pm/Pe)を示す線図である。

【図34】

機関負荷率KLonと吸気管圧力Pmとの関係の一例を示す線図である。

【図35】

勾配e1, e2を示す線図である。

【図36】

接続点における吸気管圧力dを示す線図である。

【図37】

接続点における機関負荷率rを示す線図である。

【図38】

機関負荷率KLonと吸気管圧力Pmとの関係の一例を示す線図である。

【図39】

機関負荷率KLoffと吸気管圧力Pmとの関係の一例を示す線図である。

【図40】

勾配a1, a2を示す線図である。

【図41】

接続点における機関負荷率cを示す線図である。

【図42】

差△KLを説明するための線図である。

【図43】

EGR制御弁通過ガス流量megrの算出ルーチンを示すフローチャートである

【図44】

差 ΔK_L と吸気管圧力 P_m との関係の一例を示す線図である。

【図45】

勾配 h_1 , h_2 および接続点における差 i を示す線図である。

【図46】

本発明の別の実施形態による、EGR制御弁通過ガス流量 m_{egr} の算出ルーチンを示すフローチャートである。

【図47】

EGR開度とステップ数 θ_e との関係を示す線図である。

【図48】

各種補正係数を示す線図である。

【図49】

本発明のさらに別の実施形態を示す内燃機関の部分図である。

【図50】

吸気管圧力 P_m が最高圧 P_{mmax} を越えたときの機関負荷率 K_L を示す線図である。

【図51】

スワール制御弁を備えた内燃機関の吸気枝管を示す図である。

【符号の説明】

1 … 機関本体

5 … 燃焼室

6 … 吸気弁

7 … 吸気ポート

8 … 排気弁

1 1 … 燃料噴射弁

1 3 … 吸気管

1 8 … スロットル弁

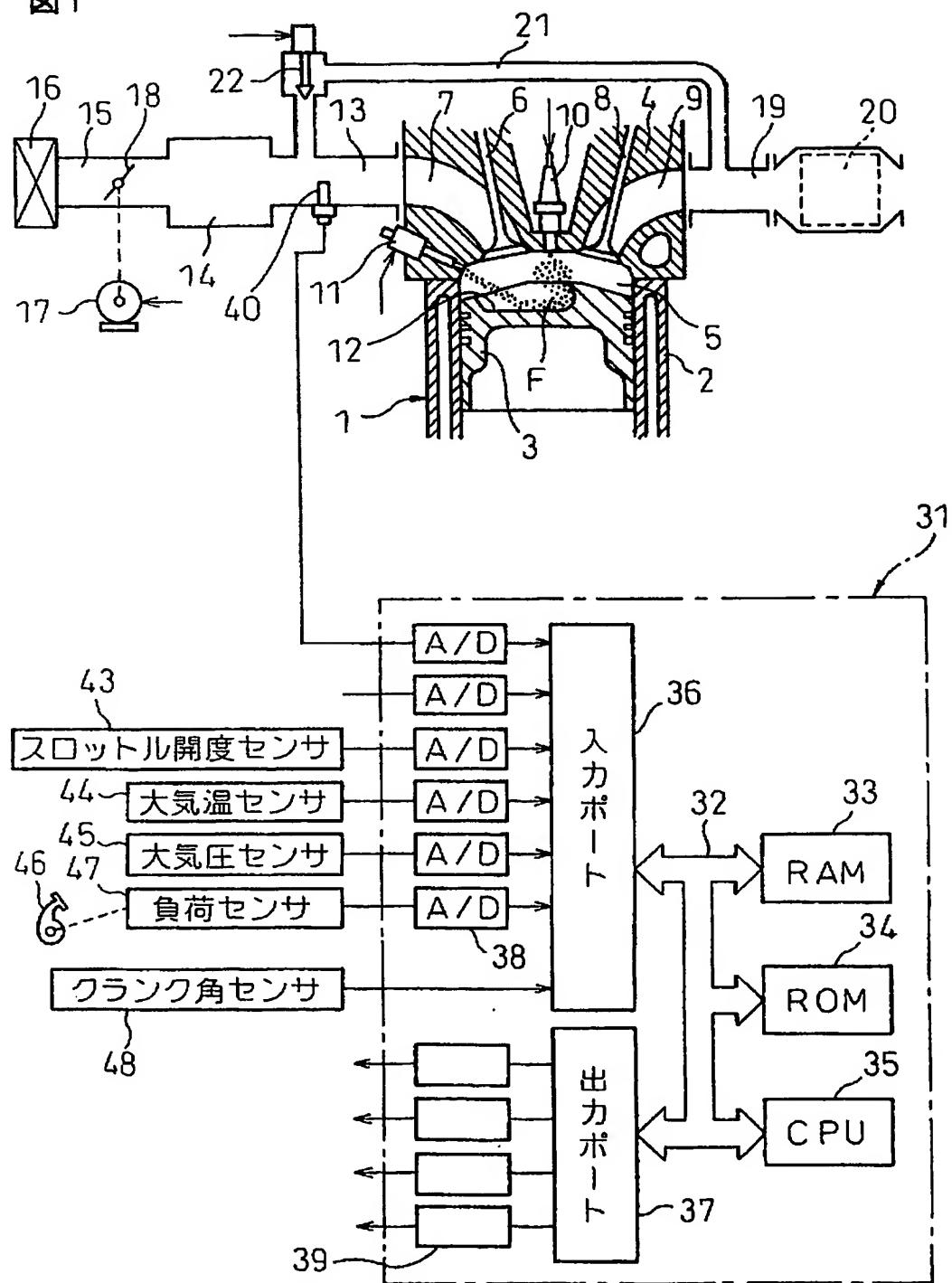
2 2 … EGR制御弁

【書類名】

図面

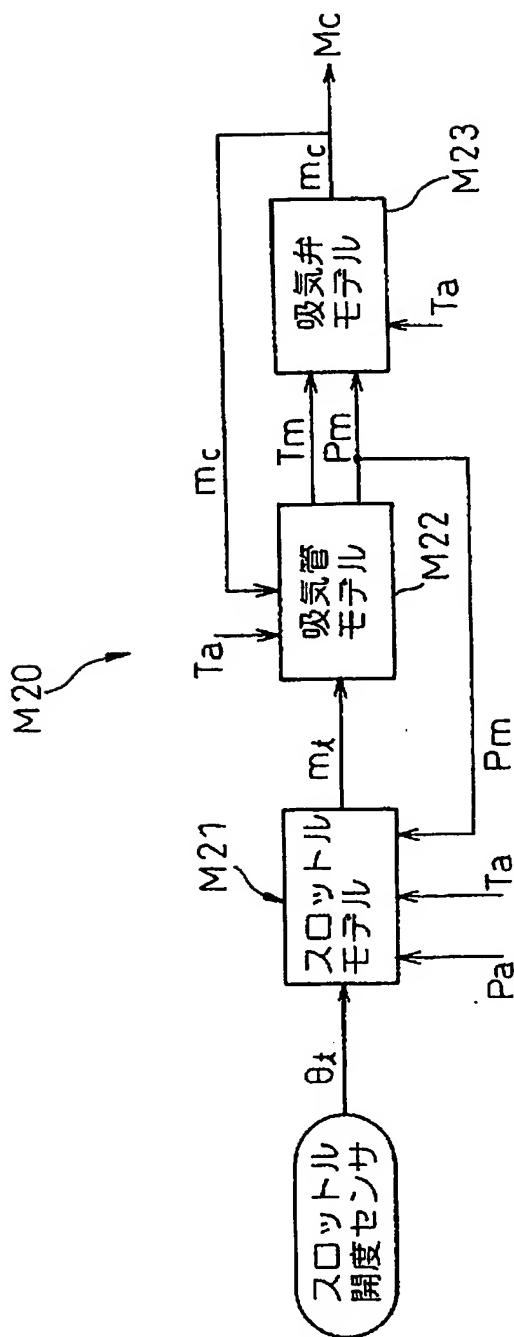
【図 1】

図 1



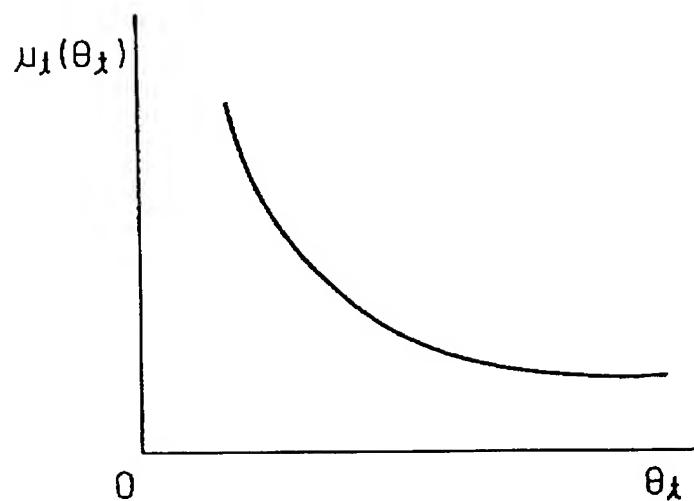
【図2】

図2



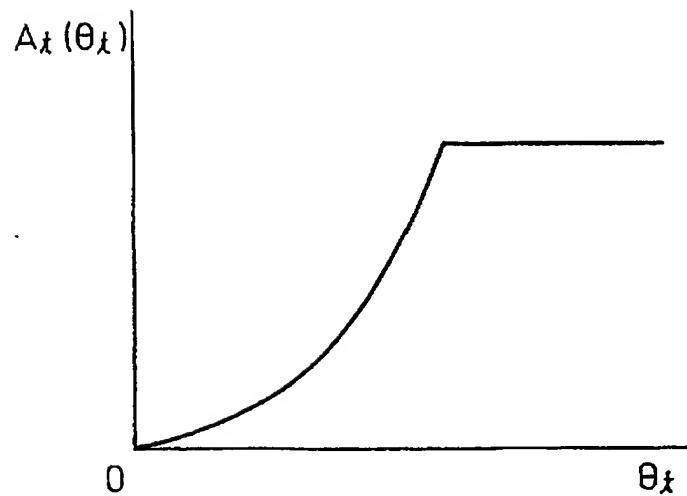
【図3】

図3

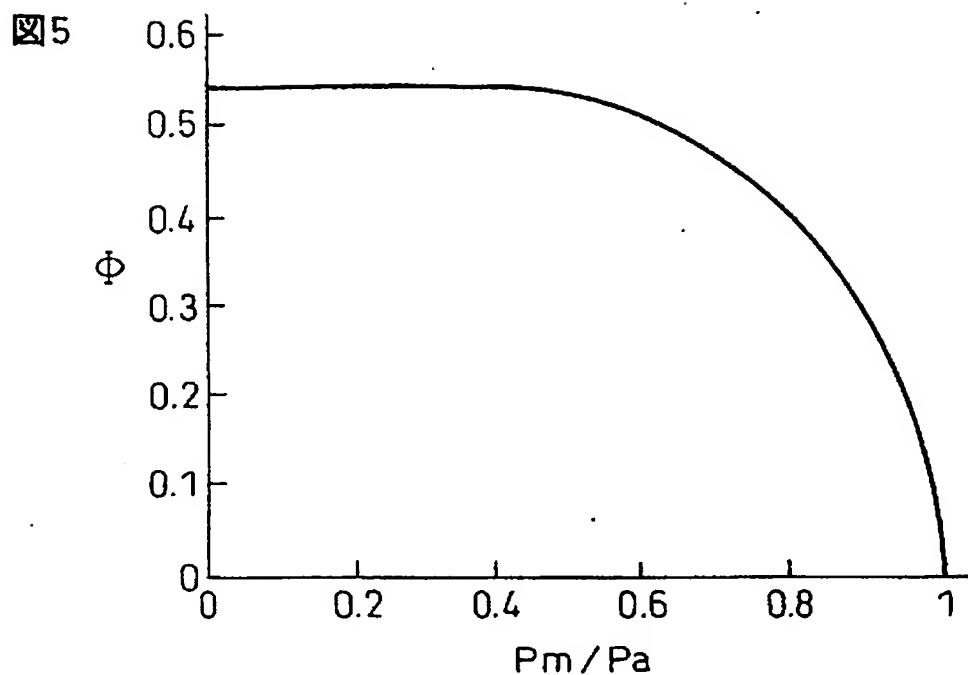


【図4】

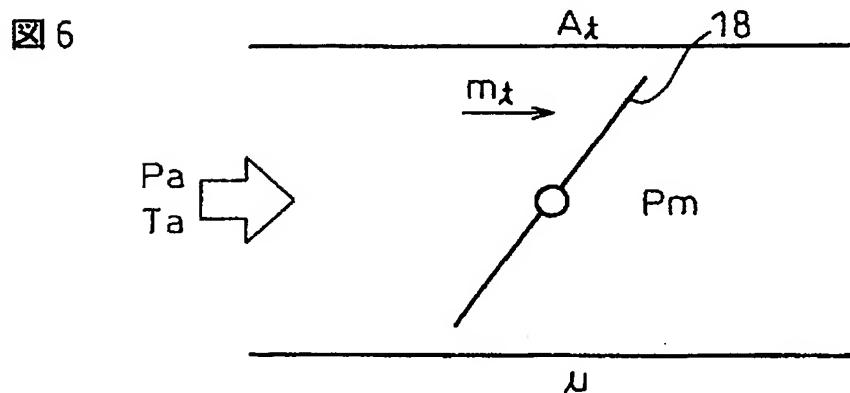
図4



【図5】



【図6】



P_m : 吸気管内圧力 (kPa)

P_a : 大気圧 (kPa)

T_a : 大気温度 (K)

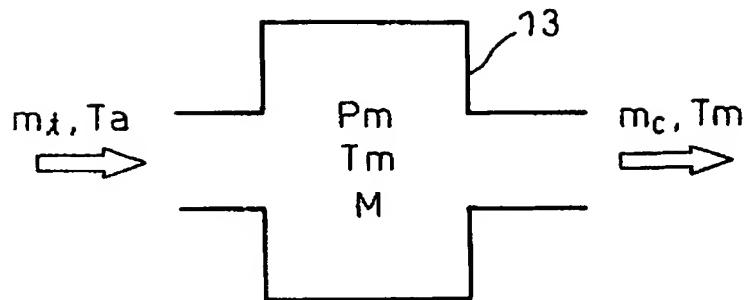
A_t : スロットル弁開口断面積 (m^2)

m_t : スロットル弁通過空気流量 (g/sec)

μ : 流量係数

【図7】

図 7



m_t : 吸気管に流入する気体の流量 (g/sec)

m_c : 吸気管から流出する気体の流量 (g/sec)

P_m : 吸気管内圧力 (kPa)

T_a : 流入する気体の温度 (K)

T_m : 吸気管内温度 (K)

M : 吸気管内の総気体量

R : 気体定数

V_m : 吸気管容積 (m³)

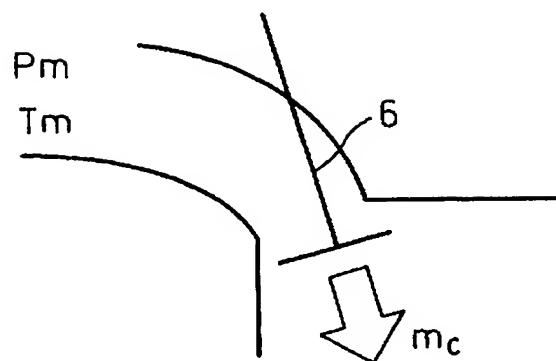
C_p : 空気の定圧比熱

C_v : 空気の定容比熱

K : 比熱比

【図8】

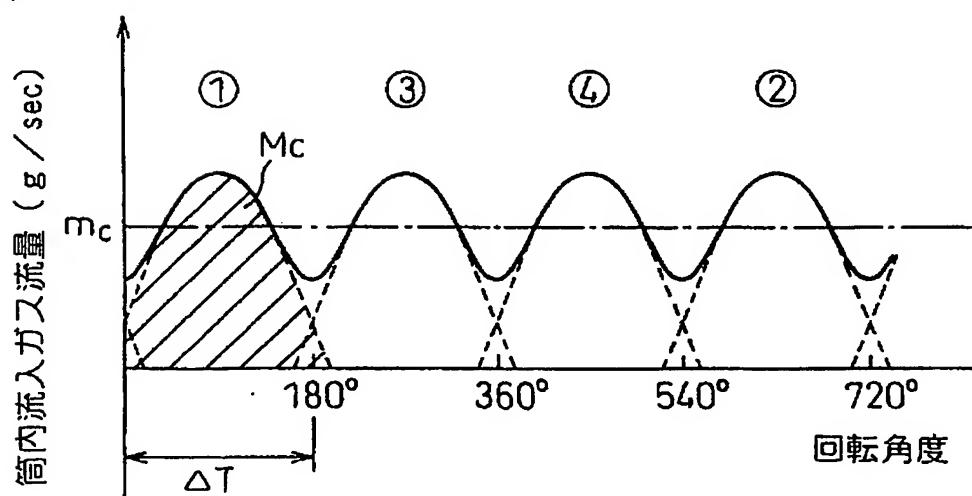
図8



P_m : 吸気弁上流の圧力 (kPa)
 T_m : 吸気弁上流の温度 (K)
 T_a : 大気温度 (K)
 m_c : 筒内吸入ガス流量 (g/sec)
 a, b : 適合パラメータ

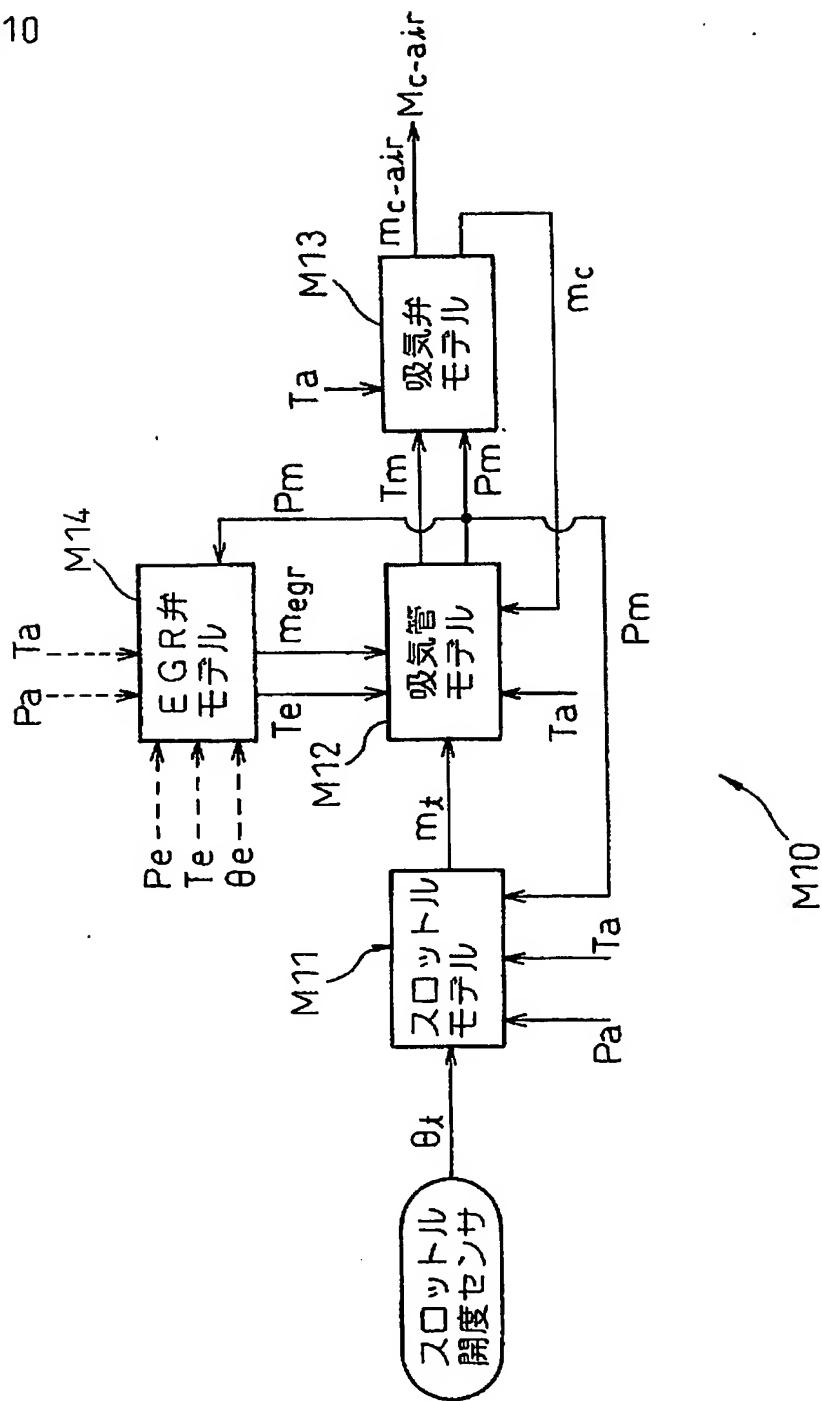
【図9】

図9



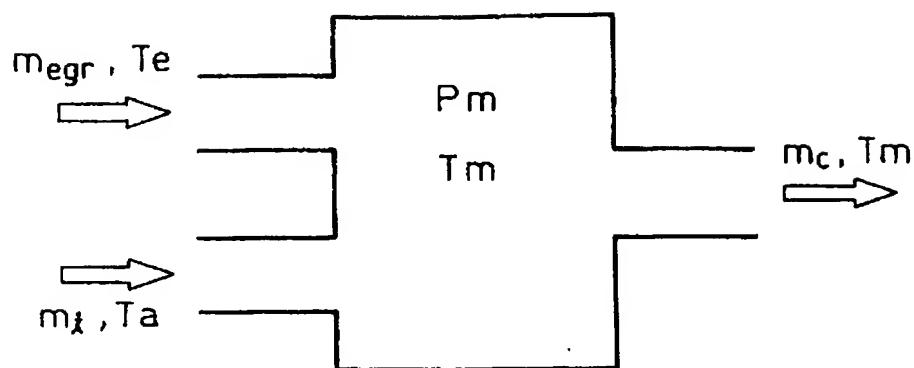
【図10】

図10



【図11】

図11



m_{egr} : EGR弁通過ガス流量 (g/sec)

m_t : スロットル通過空気流量 (g/sec)

m_c : 筒内吸入ガス流量 (g/sec)

T_e : 排気温度 (K)

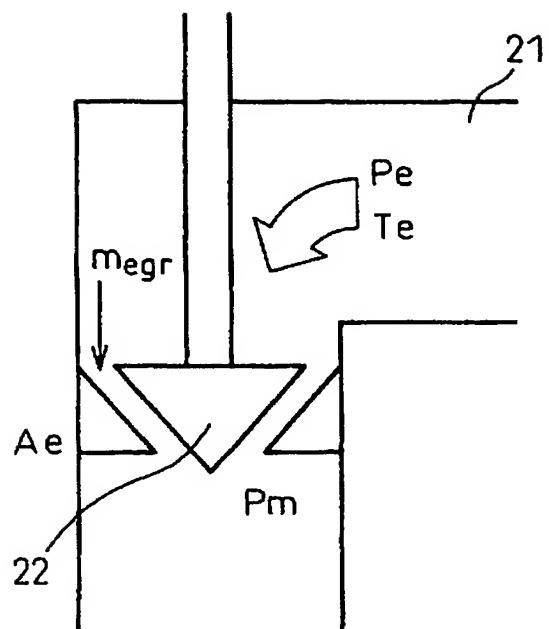
T_a : 大気温または吸気温 (K)

T_m : 吸気管内温度 (K)

P_m : 吸気管内圧力 (kPa)

【図12】

図12



P_e : 排気圧 (kPa)

T_e : 排気温度 (K)

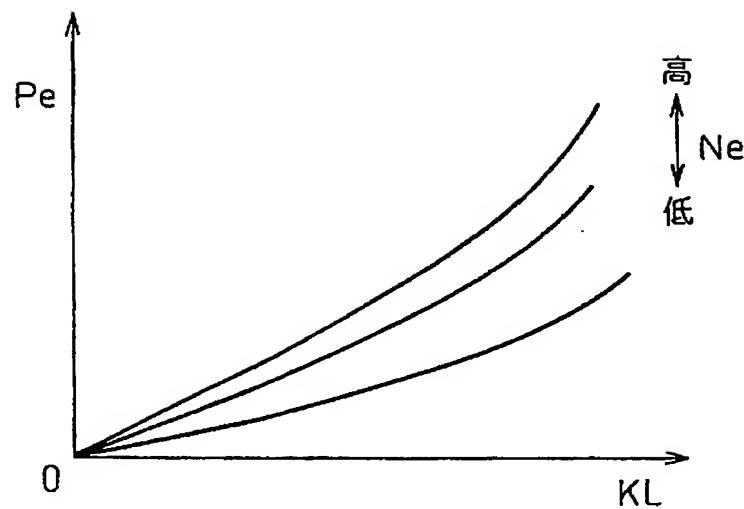
P_m : 吸気管内圧力 (kPa)

m_{egr} : EGR弁通過ガス流量 (g/sec)

A_e : EGR弁における開口断面積 (m^2)

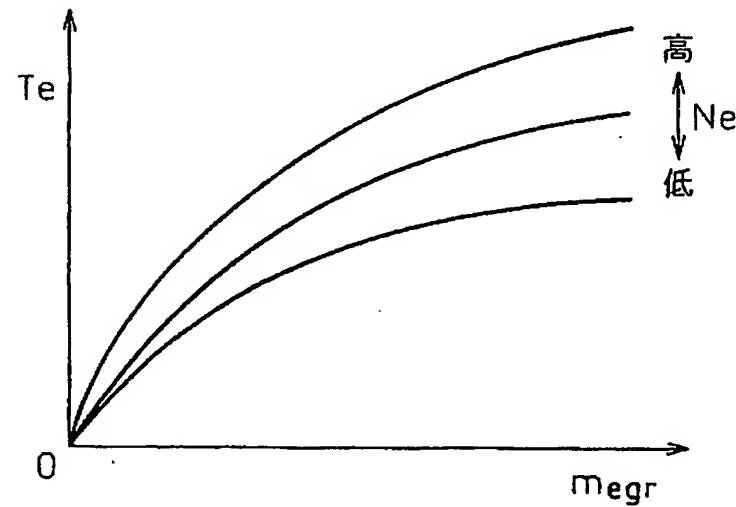
【図13】

図13



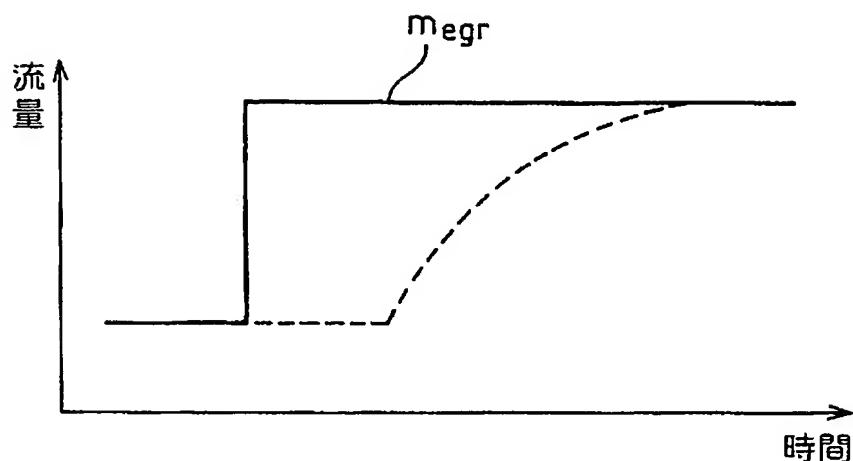
【図14】

図14



【図15】

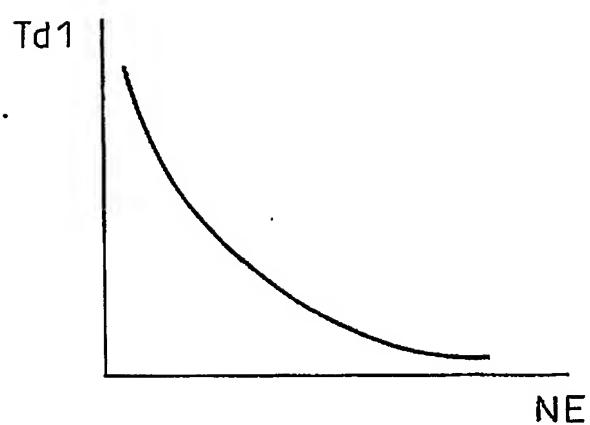
図15



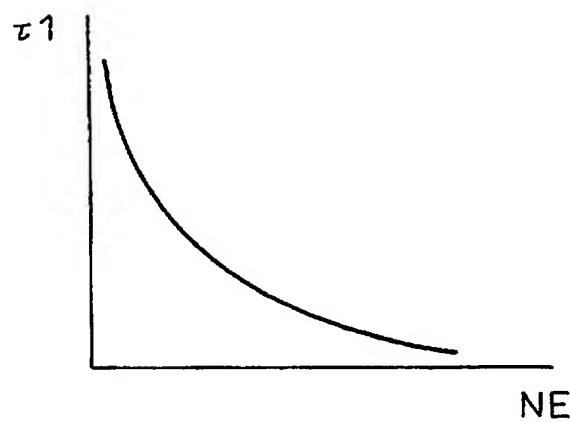
【図16】

図16

(A)

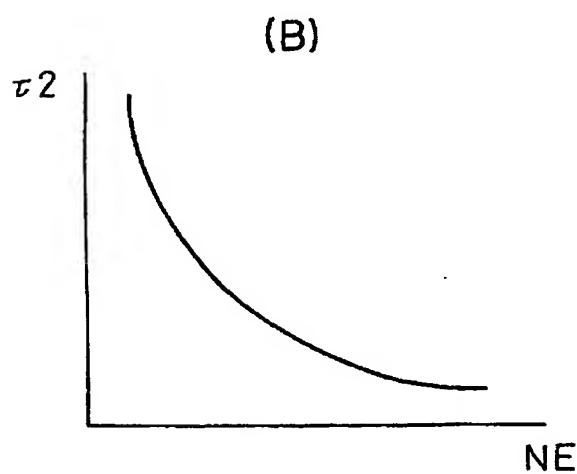
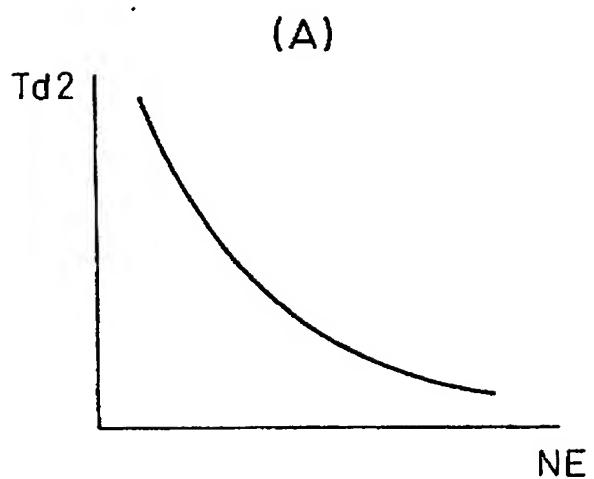


(B)



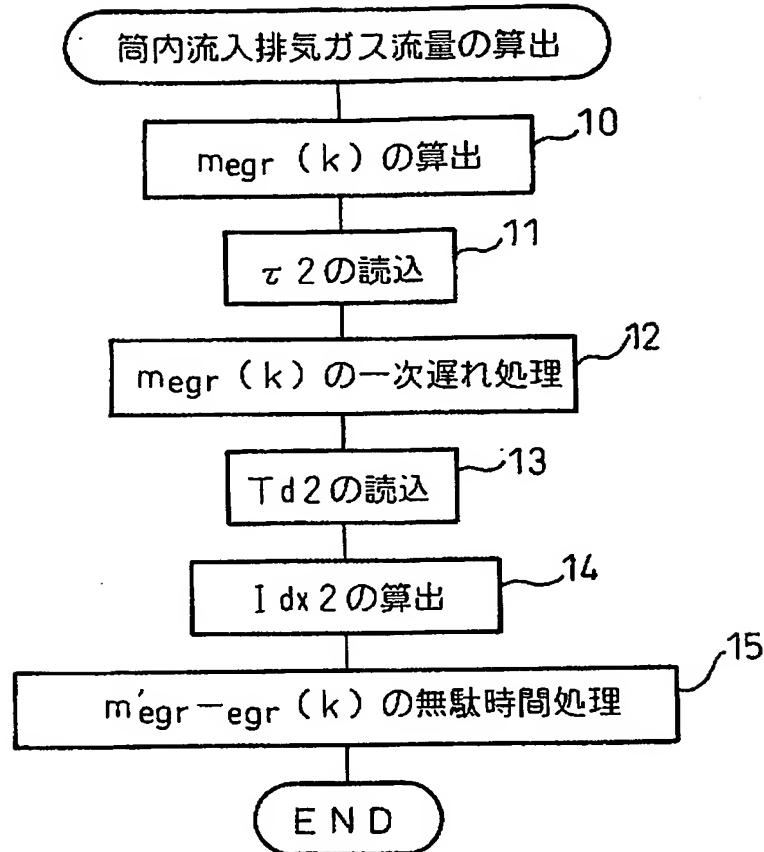
【図17】

図17



【図18】

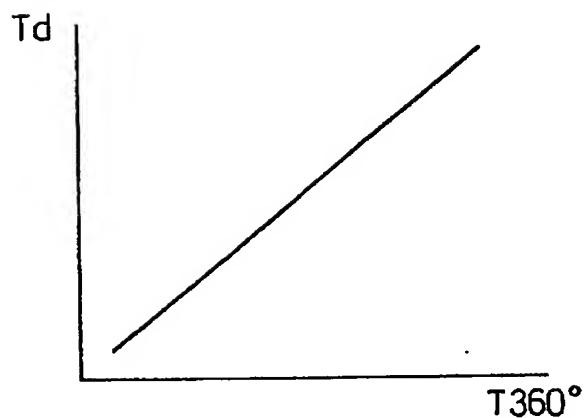
図18



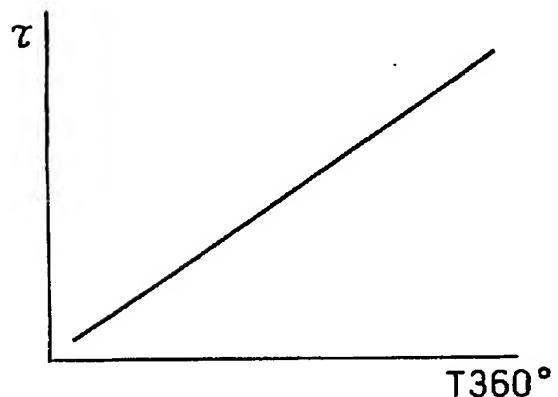
【図19】

図19

(A)



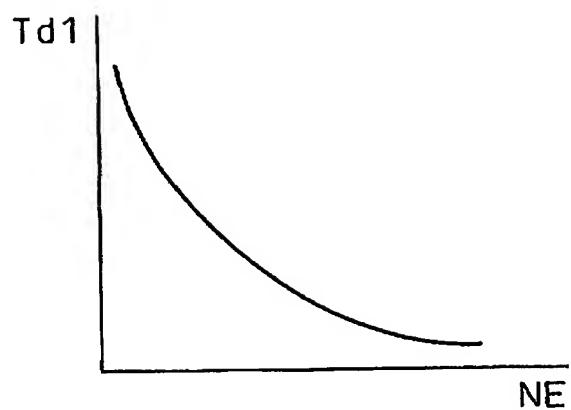
(B)



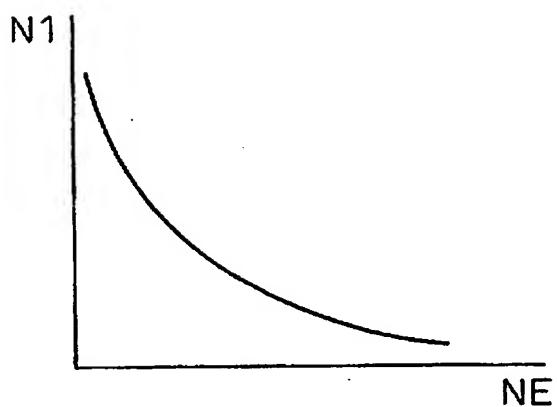
【図20】

図20

(A)



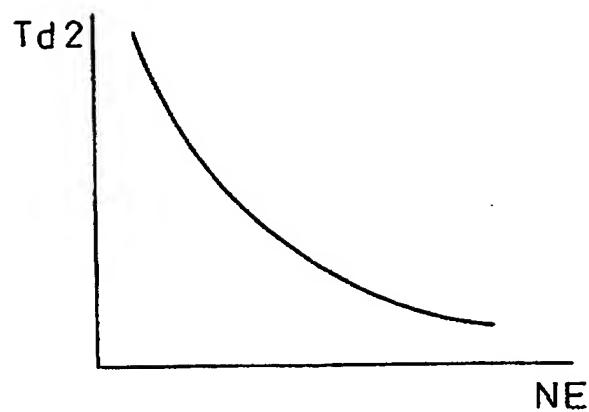
(B)



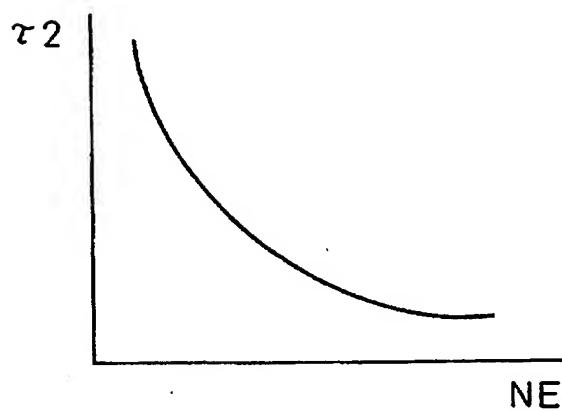
【図21】

図21

(A)

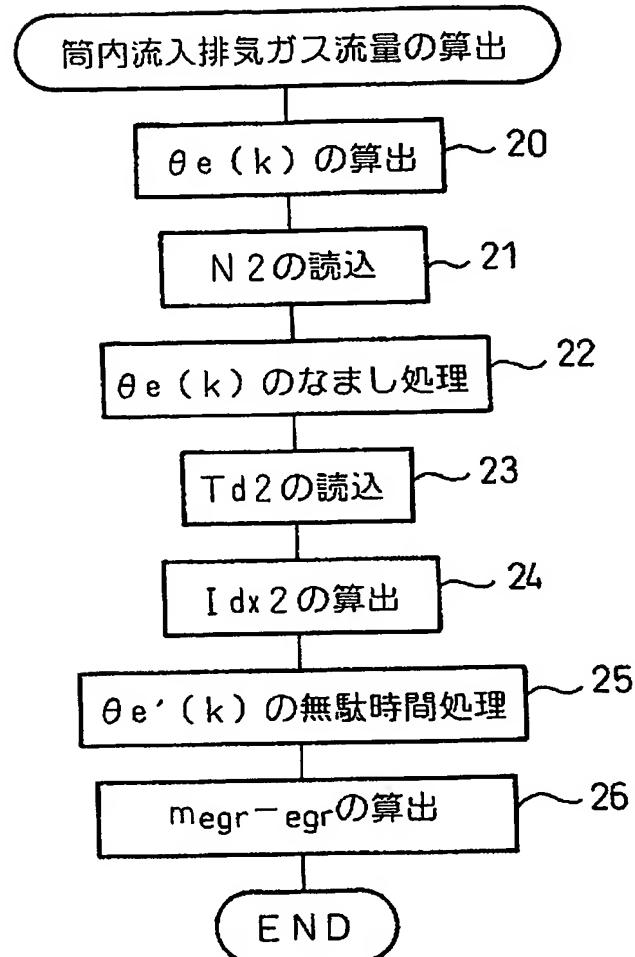


(B)



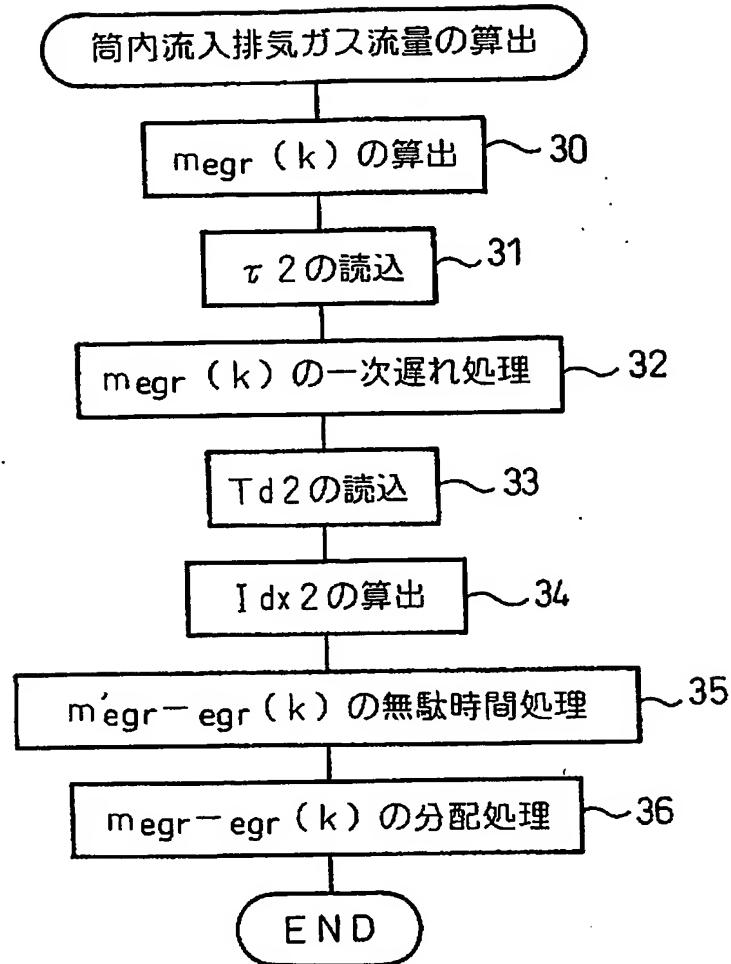
【図22】

図22



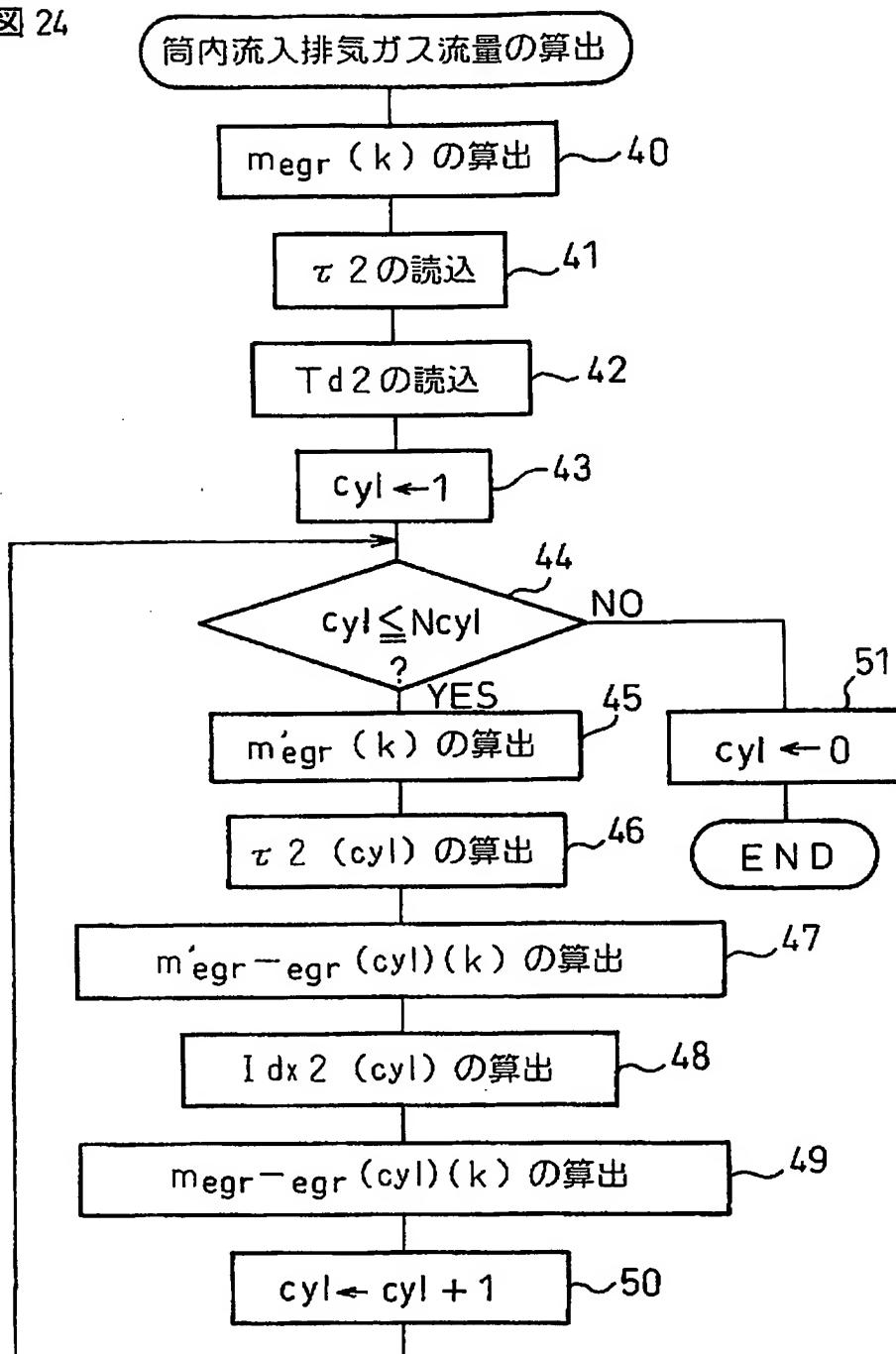
【図23】

図23



【図24】

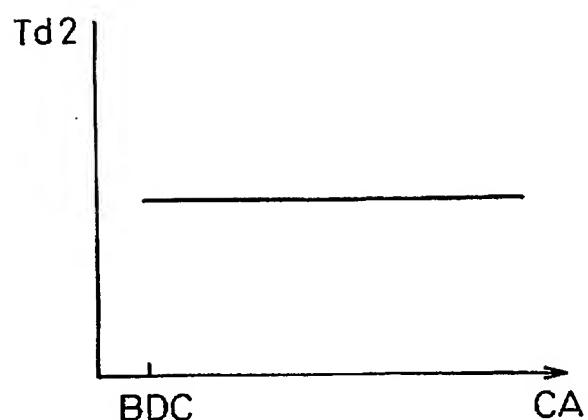
図24



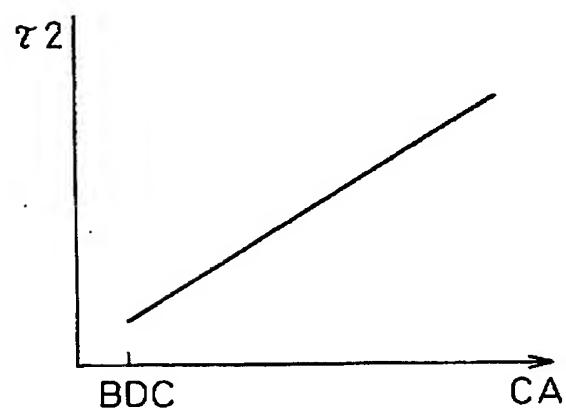
【図25】

図25

(A)



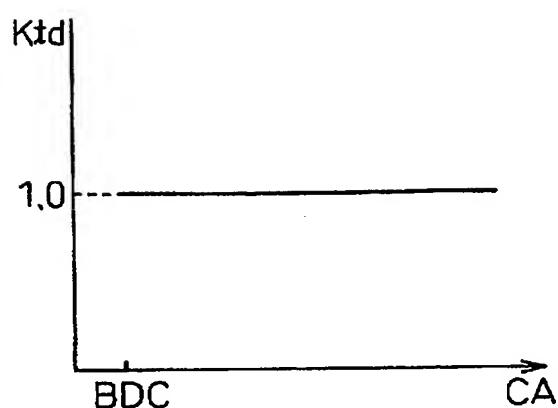
(B)



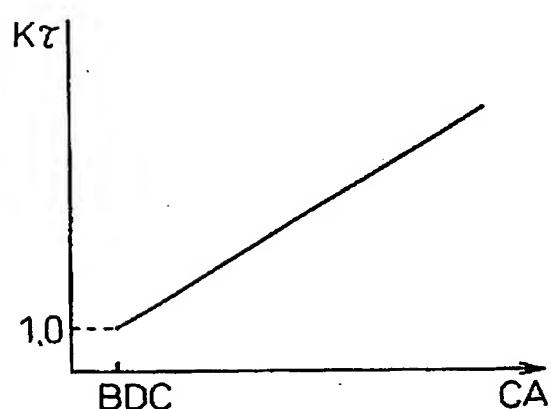
【図26】

図26

(A)



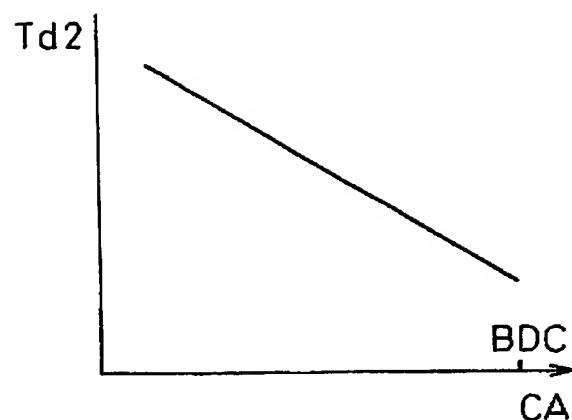
(B)



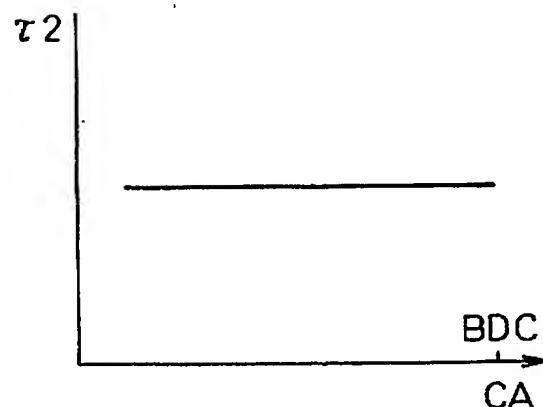
【図27】

図27

(A)



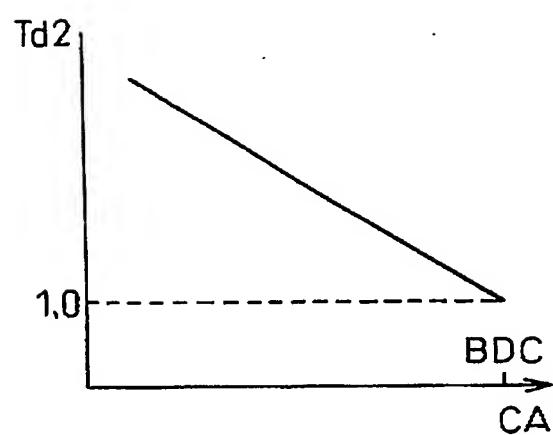
(B)



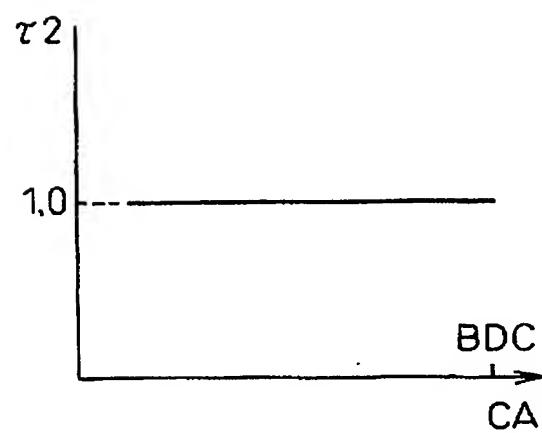
【図28】

図28

(A)



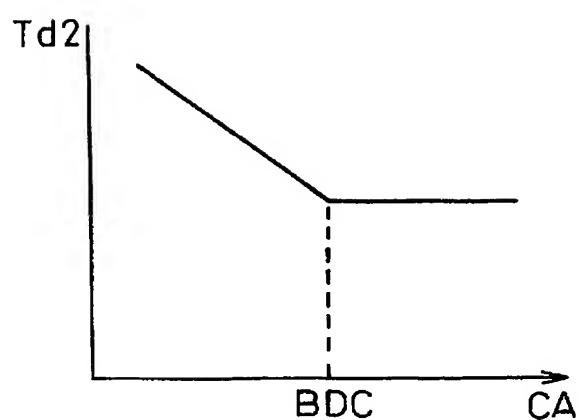
(B)



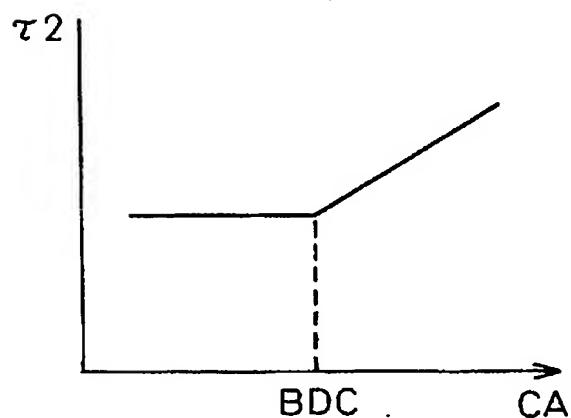
【図29】

図29

(A)



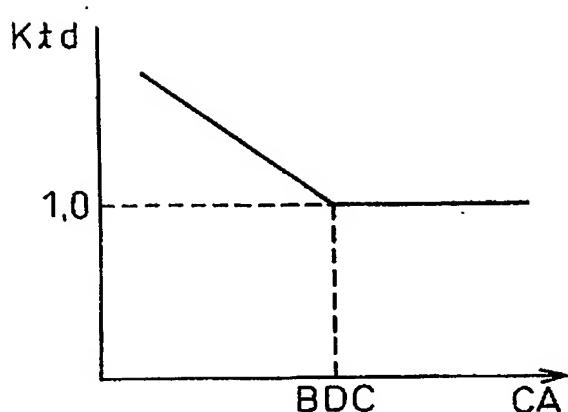
(B)



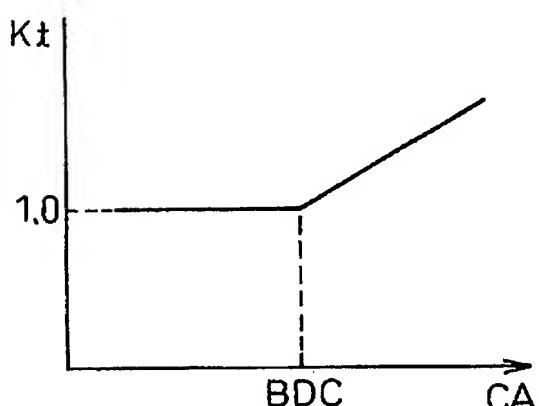
【図30】

図30

(A)

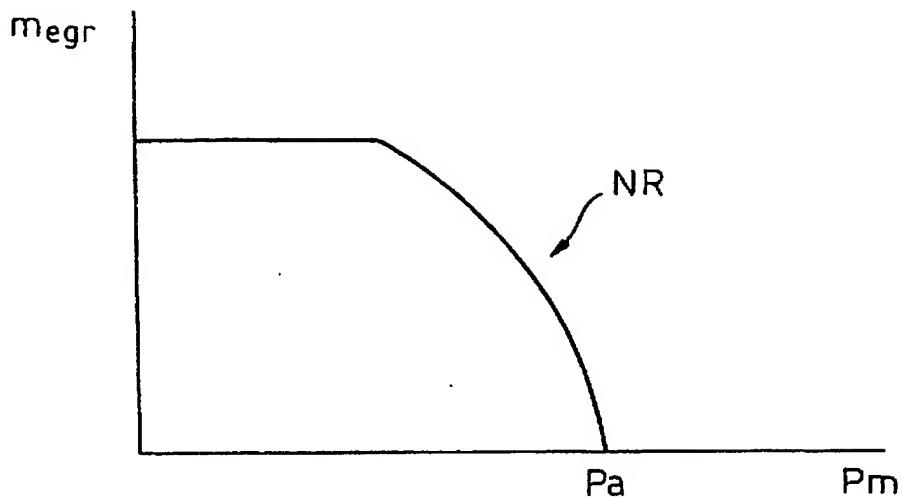


(B)



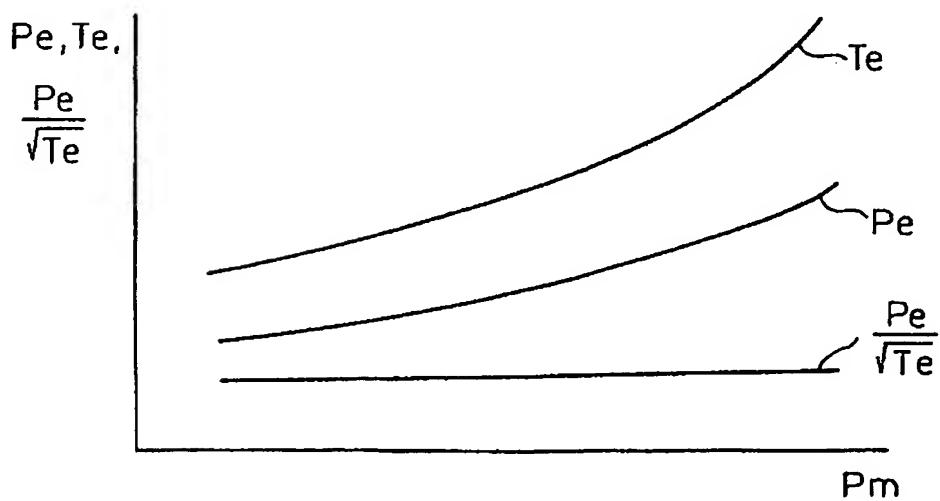
【図31】

図31



【図32】

図32

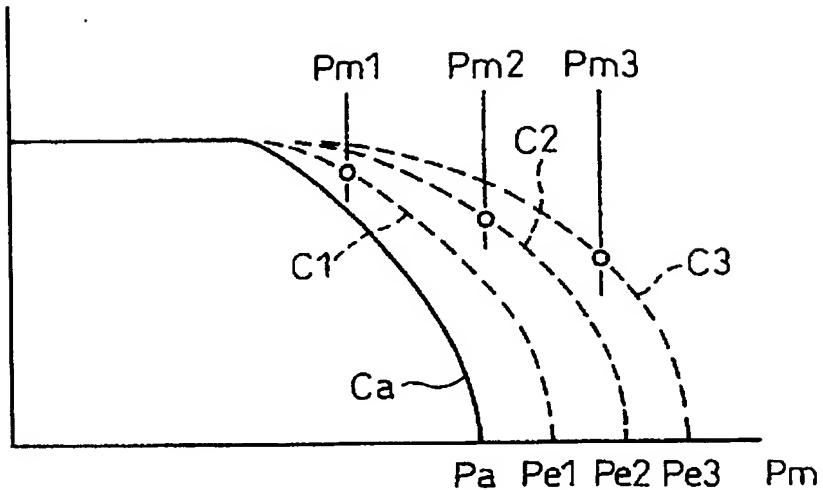


【図33】

図33

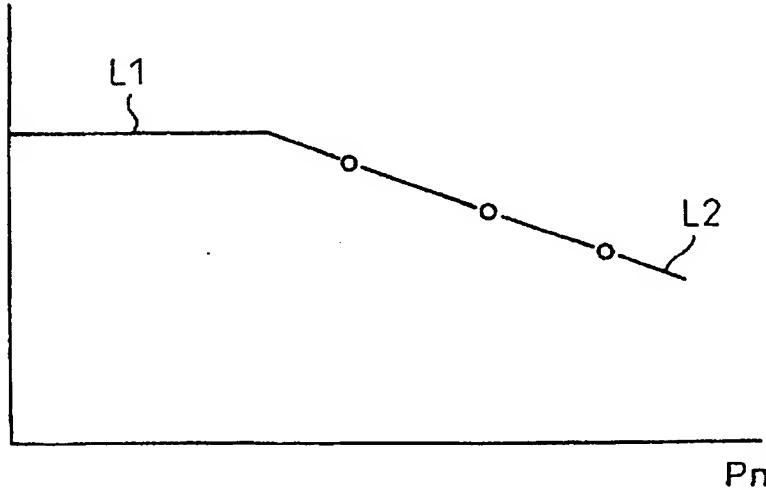
(A)

$$\Phi \left(\frac{P_m}{P_e} \right)$$



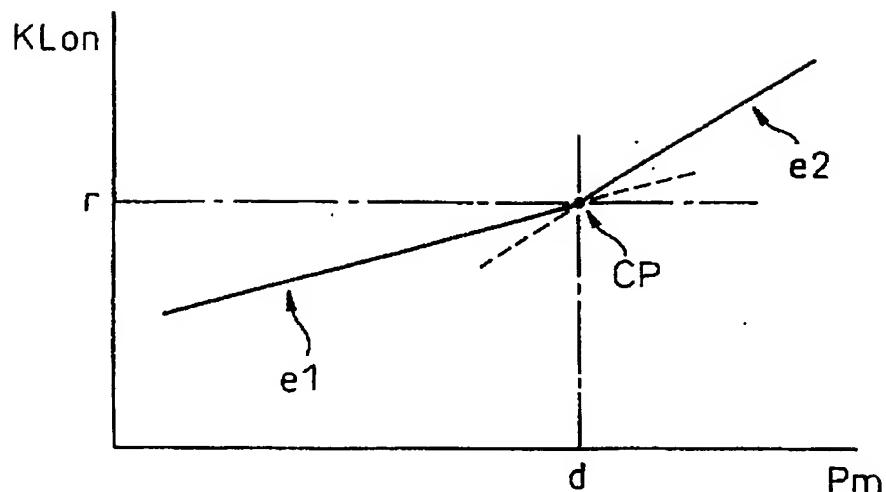
(B)

$$\Phi \left(\frac{P_m}{P_e} \right)$$



【図34】

図34



【図35】

図35

(A)

 e_1^* θ_e 大 θ_e 小

NE

(B)

 e_2^* θ_e 大 θ_e 小

NE

(C)

(D)

 θ_e $e_{11}^* \quad e_{12}^* \quad \cdots \quad e_{1n}^*$ e_{121}^*

⋮

 e_{1m1}^* $\cdots \cdots \cdots \quad e_{1mn}^*$

NE

 θ_e $e_{211}^* \quad e_{212}^* \quad \cdots \cdots \quad e_{21n}^*$ e_{221}^*

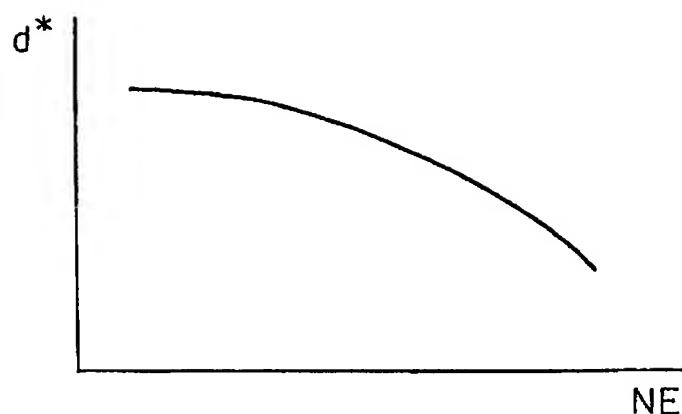
⋮

 e_{2m1}^* $\cdots \cdots \cdots \quad e_{2mn}^*$

NE

【図36】

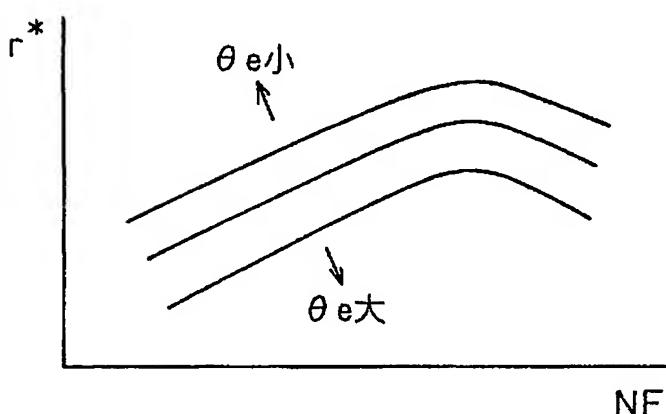
図36



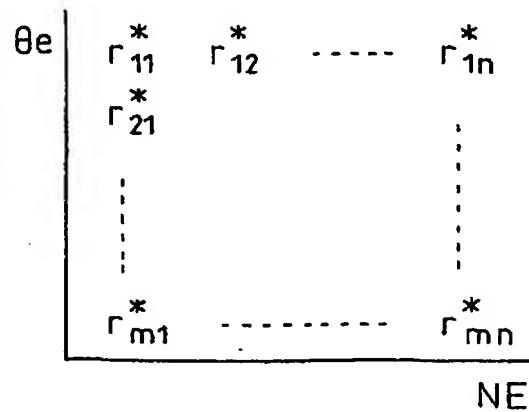
【図37】

図37

(A)

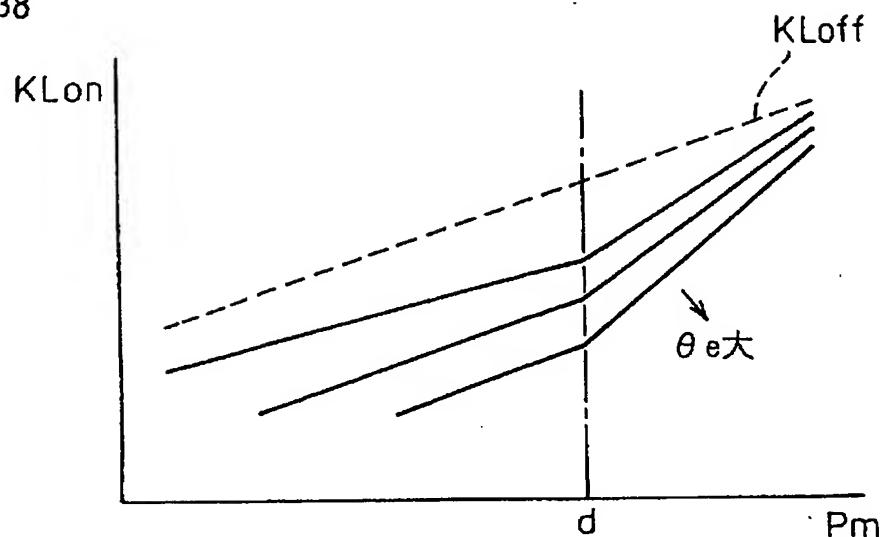


(B)



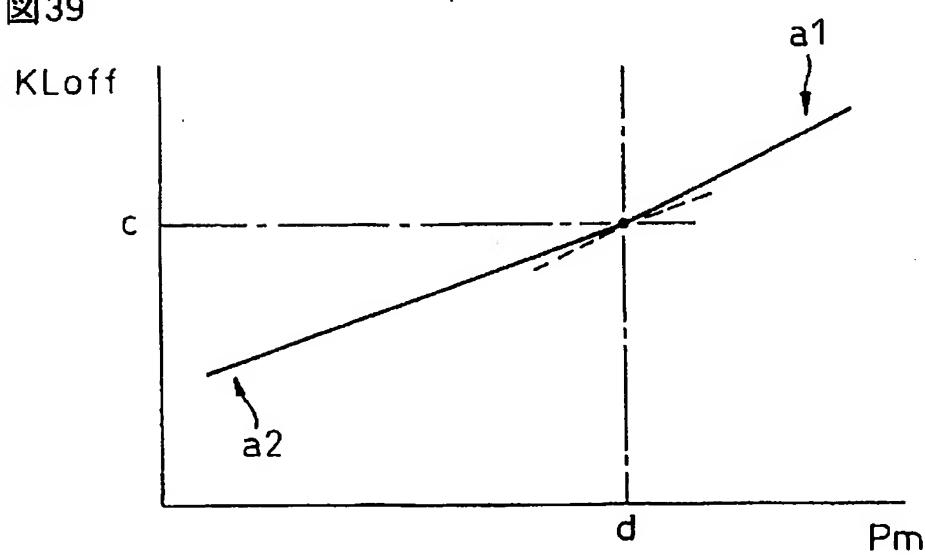
【図38】

図38

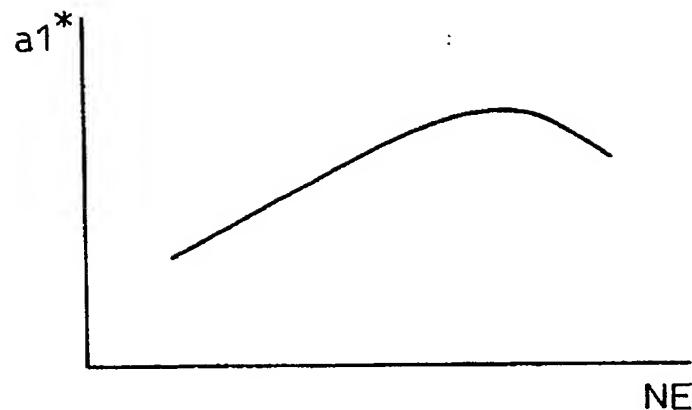


【図39】

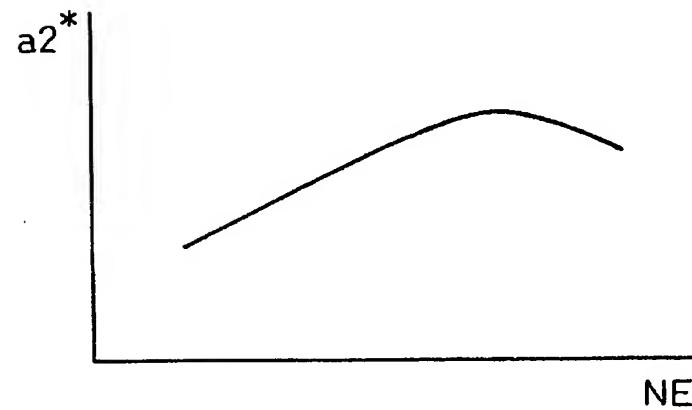
図39



【図40】

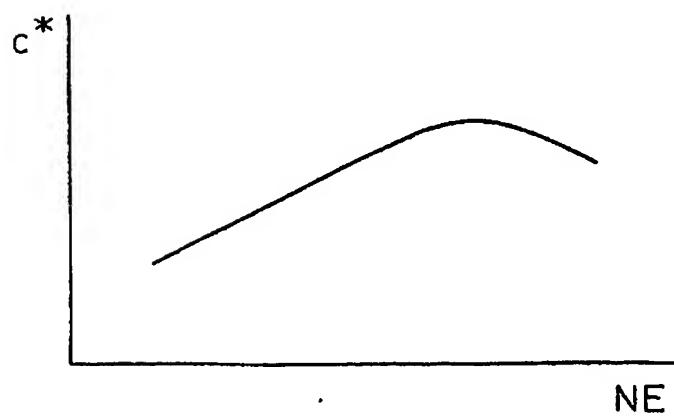
図40
(A)

(B)



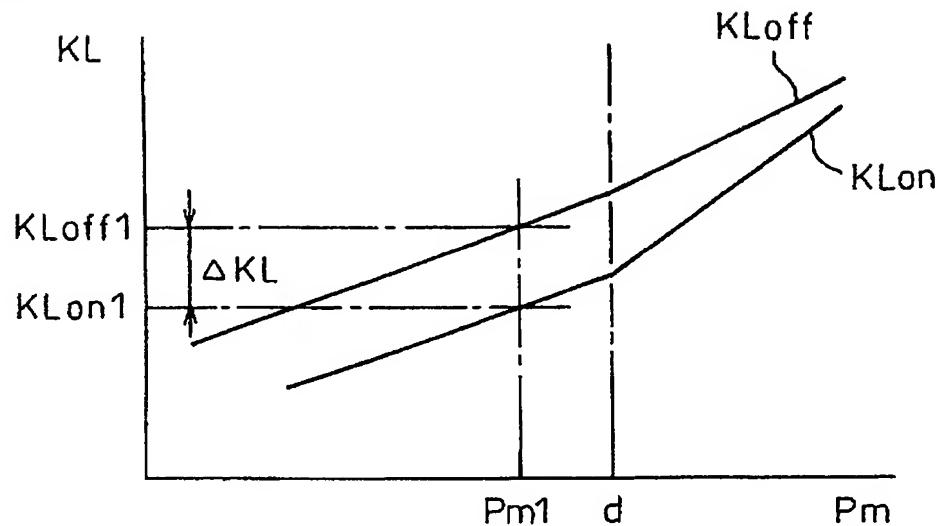
【図41】

図41



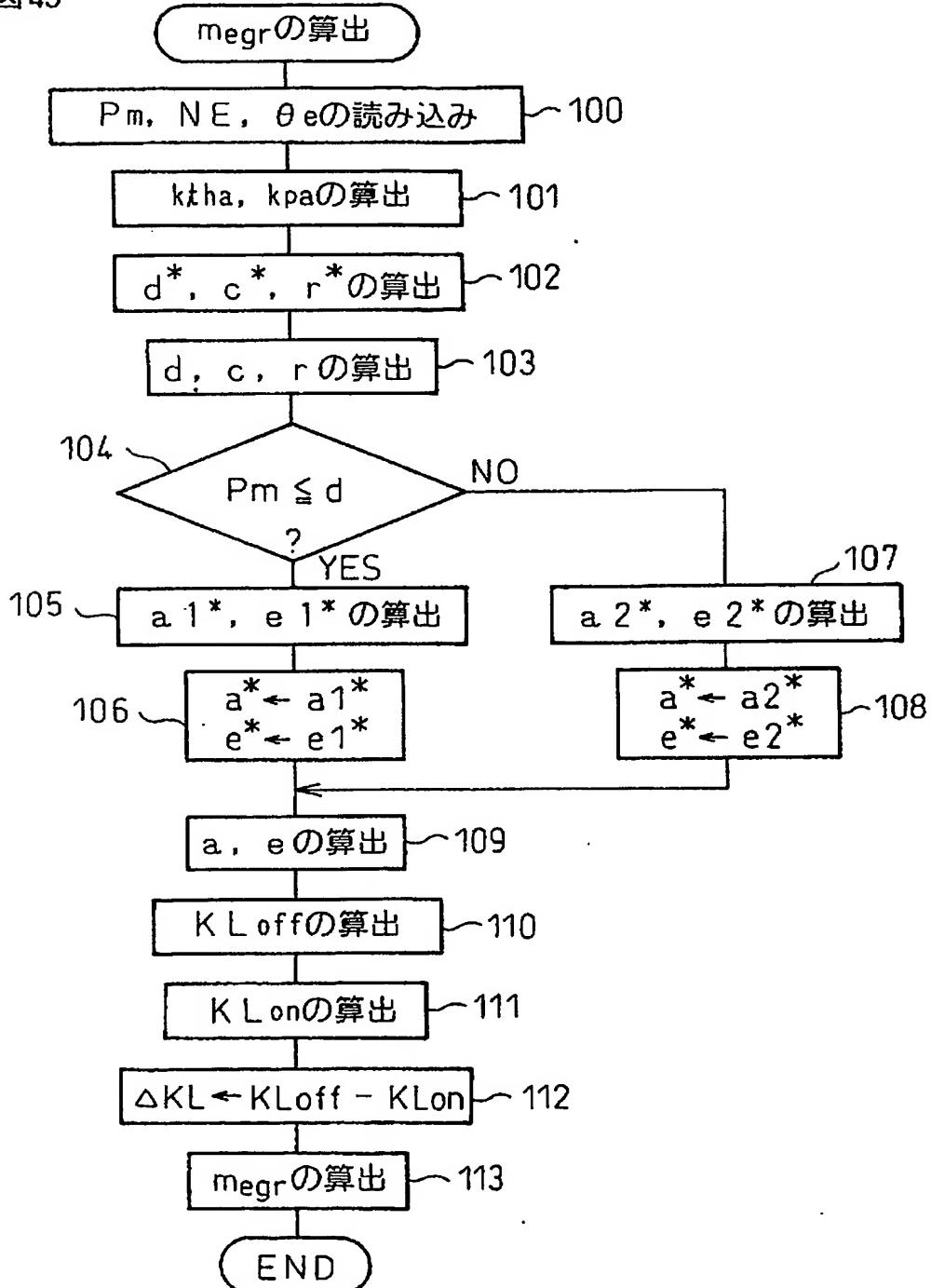
【図42】

図42



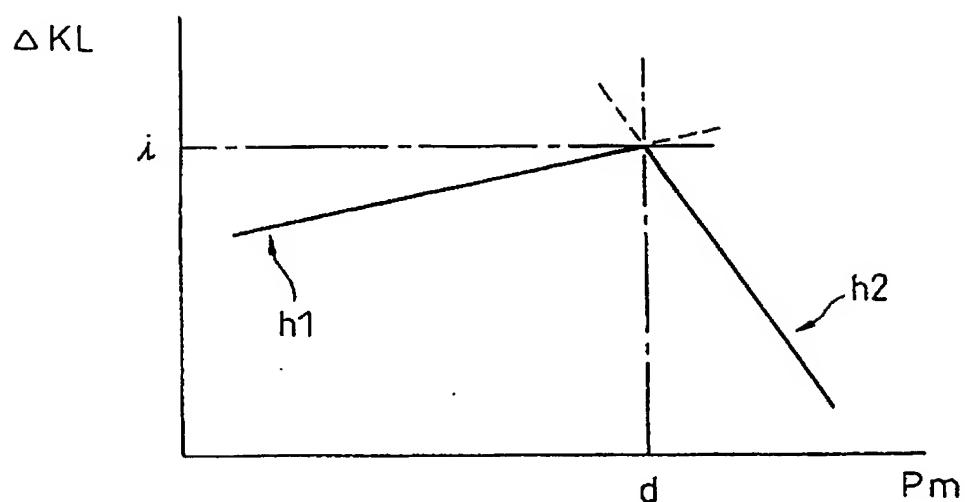
【図43】

図43



【図44】

図44



【図45】

図45

(A)

θe	h_{11}^*	h_{12}^*	----	h_{1n}^*
	h_{121}^*			
	⋮		⋮	
	h_{1m1}^*	-----		h_{mn}^*

NE

(B)

θe	h_{211}^*	h_{212}^*	----	h_{21n}^*
	h_{221}^*			
	⋮		⋮	
	h_{2m1}^*	-----		h_{mn}^*

NE

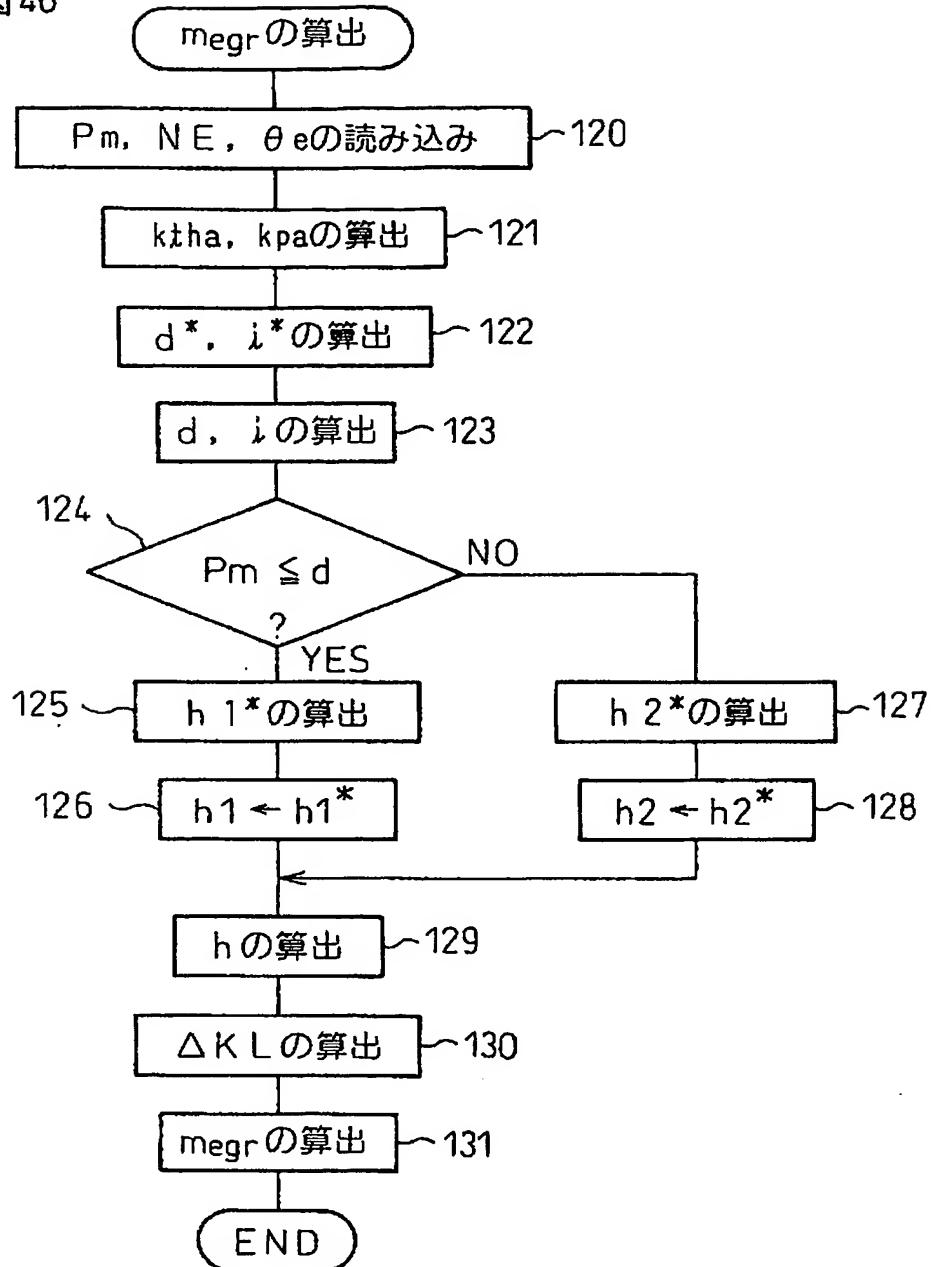
(C)

θe	i_{11}^*	i_{12}^*	----	i_{1n}^*
	i_{21}^*			
	⋮		⋮	
	i_{m1}^*	-----		i_{mn}^*

NE

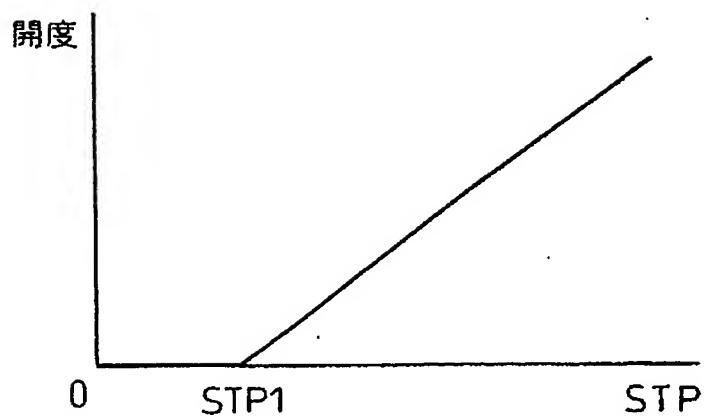
【図46】

図46



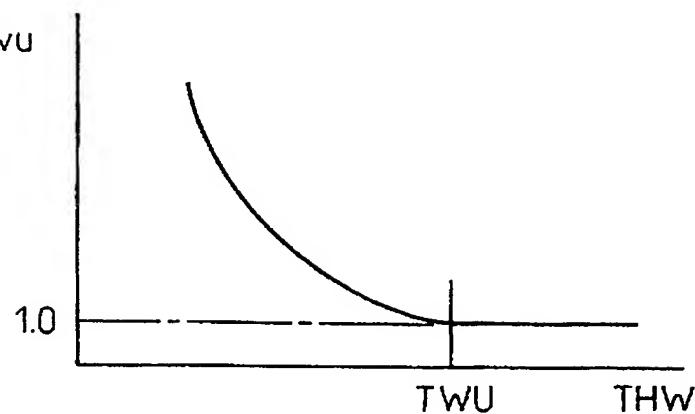
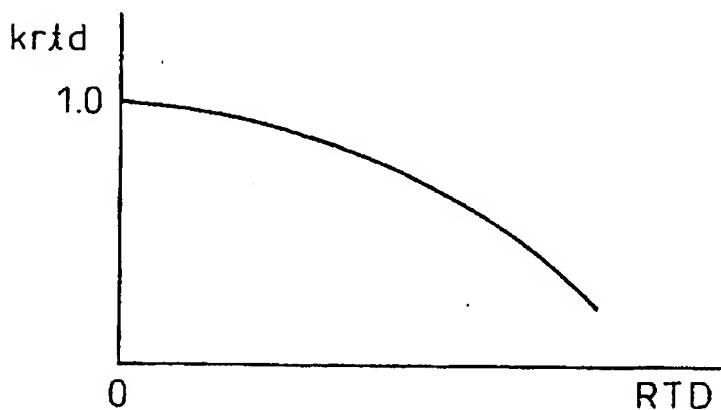
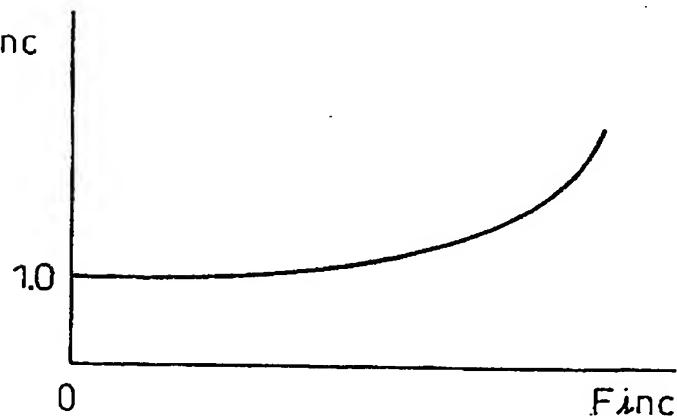
【図47】

図47



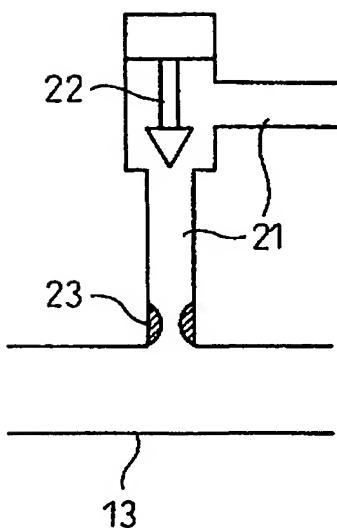
【図48】

図48

(A) k_{WU} (B) k_{RTD} (C) k_{inc} 

【図49】

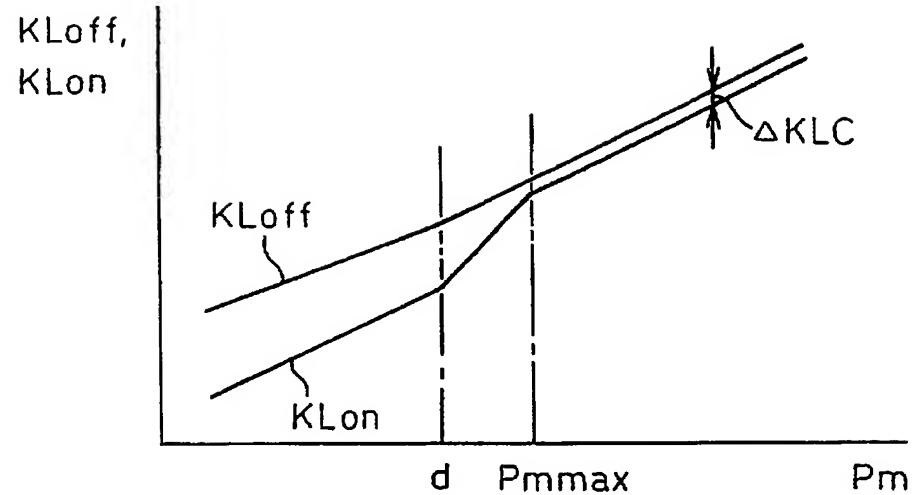
図49



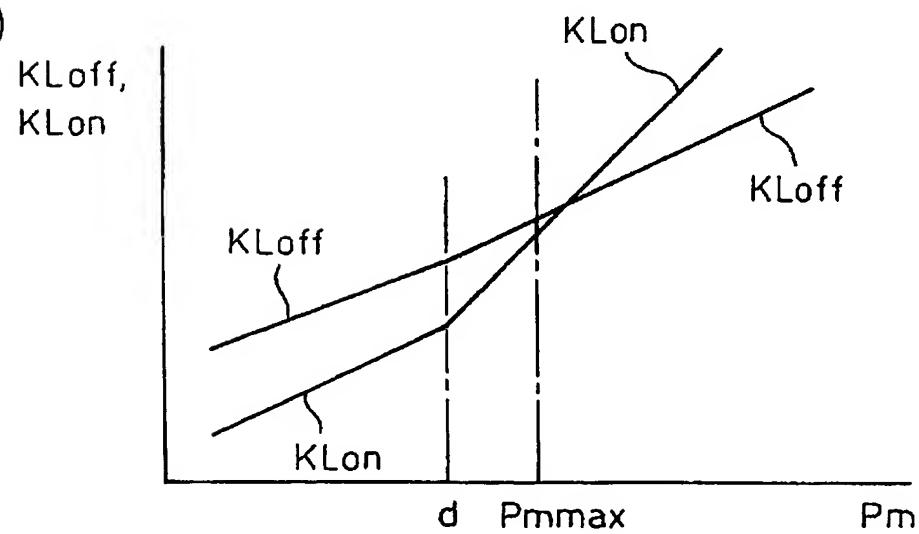
【図50】

図50

(A)



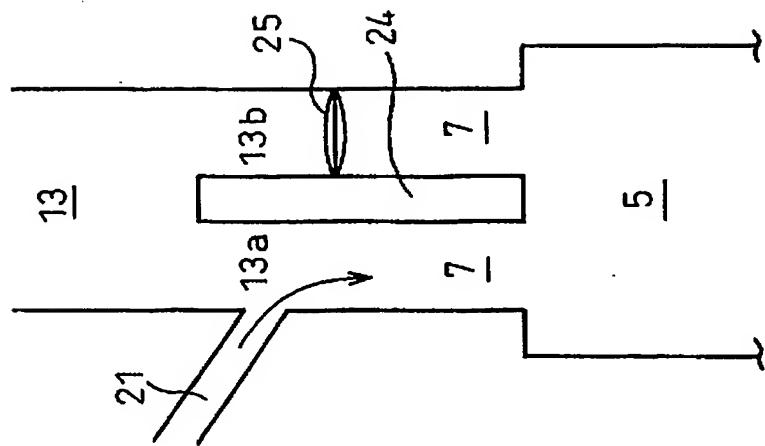
(B)



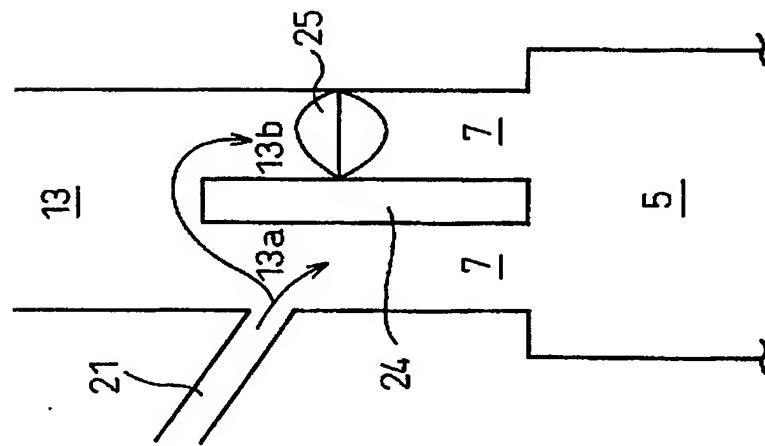
【図51】

図51

(B)



(A)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 内燃機関の気筒内に流入する排気ガスの量を正確に算出することにある。

【解決手段】 吸気通路13と排気通路19とを排気ガス再循環通路21を介して接続すると共に上記排気ガス再循環通路内を流れる排気ガスの流量を制御する排気ガス流量制御弁22を排気ガス再循環通路内に配置した。内燃機関の気筒5内に流入する排気ガスの量である筒内流入排気ガス量を、排気ガス流量制御弁を通過する排気ガスの量である通過排気ガス量を利用して算出する。排気ガス流量制御弁を通過した排気ガスが気筒に到達するのにかかる時間に相当する無駄時間と、通過排気ガス量の変化に対する筒内流入排気ガス量の変化の追従遅れとを考慮して、筒内流入排気ガス量を算出する。

【選択図】 図1

特願 2002-365669

出願人履歴情報

識別番号 [000003207]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県豊田市トヨタ町1番地
氏 名 トヨタ自動車株式会社